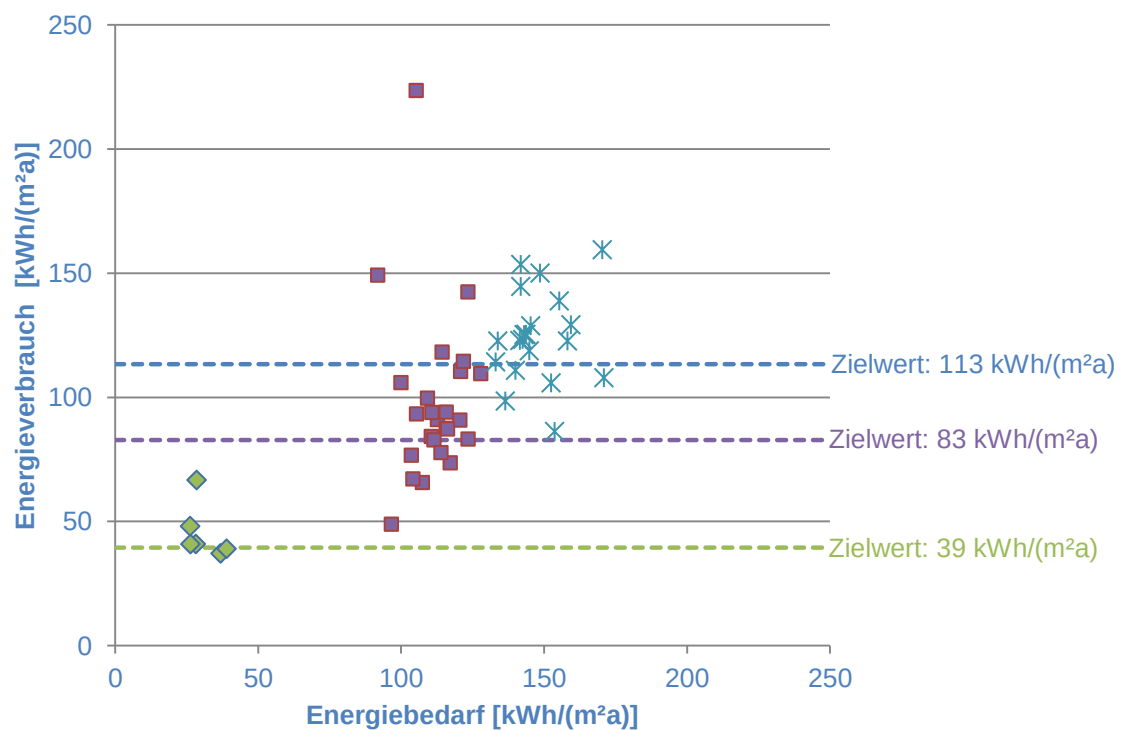




TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT
Fachbereich Bauingenieurwesen
Institut für Massivbau
Fachgebiet Massivbau
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Carl-Alexander Graubner

Alicia Graf

Analyse des Energieverbrauchs wärmetechnisch modernisierter Mehrfamilienhäuser - Entwicklung von Verbrauchsbenchmarks zur Beurteilung der Energieeffizienz



***Analyse des Energieverbrauchs wärmetechnisch modernisierter Mehrfamilienhäuser
- Entwicklung von Verbrauchsbenchmarks zur Beurteilung der Energieeffizienz***

Bachelor-Thesis am Institut für Massivbau der TU Darmstadt, eingereicht im Dezember 2015 / Publikationsfassung

Verfasser: cand. Alicia Graf, M.Sc. Umweltingenieurwissenschaften

Betreuer: Claudia Weißmann, M.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen

Anschrift:
Technische Universität Darmstadt
Institut für Massivbau
Franziska-Braun-Straße 3
64287 Darmstadt

<http://www.massivbau.to>

In Kooperation mit: Institut Wohnen und Umwelt GmbH (IWU)

Betreuer: Tobias Loga, Rolf Born

Anschrift:
Institut Wohnen und Umwelt GmbH
Rheinstr. 65 3
64295 Darmstadt

<http://www.iwu.de>

ISBN: 978-3-941140-57-8

IWU-Bestellnummer: 04/16

Die *Effizienzrevolution* bleibt richtungsblind, wenn sie nicht von einer *Suffizienzrevolution* begleitet wird. Eine *Ökologie der Mittel* muss Hand in Hand mit einer *Ökologie der Ziele* gehen. Nichts ist schließlich so irrational, als mit einem Höchstmaß an Effizienz in die falsche Richtung zu jagen.

Wolfgang Sachs (1993)

Kurzfassung

Für die Zielgruppe der wärmetechnisch modernisierten Mehrfamilienhäuser wurden Benchmarks entwickelt, die eine Beurteilung und Abschätzung der Verbrauchswerte durch effizienzsteigernde Maßnahmen ermöglichen. Die dafür notwendigen Gebäude- und Verbrauchsdaten wurden mittels Fragebogen direkt von den Wohnungsunternehmen erhoben und ausgewertet. Die energetisch sehr hochwertigen Gebäuden übersteigen ihre mit dem TABULA-Verfahren ermittelten Bedarfswerte typischerweise um mehr als 50 %. Bei den energetisch weniger effizienten Gebäuden werden hingegen Minderverbräuche festgestellt. Die Benchmarks berücksichtigen durch die Gegenüberstellung von real auftretenden Verbrauchs- und theoretischen Bedarfswerten die energetische Qualität der Gebäude und deren markante Gebäudemerkmale. Die ambitionierten Werte konnten durch Auswertungen aus Verbrauchsstatistiken verifiziert werden. Zusätzlich wurden qualitative und quantitative Abhängigkeiten und Fehlerpotentiale durch die Analyse der Mehrverbraucher, die Darstellung der Einflussgrößen auf den Energieverbrauch und die Fehlerbetrachtung aufgezeigt. Ausgehend von dem Verhältnis (Verbrauch/Bedarf) und mit der zusätzlichen Betrachtung eines nutzerbedingten Unschärfebereichs wurden Anpassungsfaktoren für das TABULA-Rechenverfahren entwickelt, die eine Einschätzung des zu erwartenden Verbrauchswertes und des zugehörigen Erwartungsbereiches ermöglichen.

Abstract

In the following work benchmarks have been developed, that enables the assessment and evaluation of consumption values due to efficiency-raising measures for refurbished multi-family houses. The essential building and consumption data were raised and evaluated directly by the building company. Buildings with an energetically high quality exceed their theoretical energy demand, based on the TABULA-method, by more than 50 %. For energetically lower buildings an underconsumption was detected. Those benchmarks have been formed by comparing real consumption and theoretical energy demand. The developed benchmarks consider the energy quality and the remarkable characteristics of buildings. The ambitious values could be verified by reconciliation with large consumption statistics. Additionally qualitative and quantitative dependences and error potential were shown off by studying the greater consumption, the demonstration of influence variables of energy consumption and an error analysis. Based on the ratio (consumption/demand) and an additional consideration of a userbased scope, adjustment factors for the TABULA calculation method were developed. With these factors the expected consumption and an expected range can be estimated.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
1 EINFÜHRUNG	1
1.1 Motivation.....	1
1.2 Untersuchungsgegenstand und Zielsetzung	2
1.3 Methodik.....	2
2 GRUNDLAGEN.....	4
2.1 Richtlinien und Normen	4
2.2 Kenngrößen für die energetische Qualität.....	5
2.2.1 Gebäudehülle	6
2.2.2 Anlagentechnik	6
2.2.3 weitere Faktoren	7
2.3 Kurzverfahren-Energieprofil (KVEP)	8
2.3.1 Zusammenfassung KVEP	8
2.3.2 Flächenschätzverfahren	9
2.3.3 Pauschale U-Werte	10
2.3.4 Pauschalwerte Anlagentechnik	12
2.4 TABULA	15
2.4.1 TABULA-Projekt	15
2.4.2 Berechnungsmethode	17
2.5 Verbrauchsstatistiken	19
2.5.1 Brunata-Metrona.....	20
2.5.2 ista-IWH	22
2.5.3 Techem	23
2.5.4 weitere Statistiken	24
3 DATENERHEBUNG.....	26
3.1 Ansprechpartner.....	26
3.2 Fragebogenerstellung.....	26

3.2.1	Allgemeiner Teil	26
3.2.2	Zusatzdaten	27
3.3	Probleme bei der Erhebung.....	30
3.4	Datengrundlage	30
4	DATENAUFBEREITUNG.....	32
4.1	Homogenisierung der Daten	32
4.2	Energiebedarfsberechnung.....	33
4.3	Ermittlung der Verbrauchskennwerte	35
5	DATENANALYSE.....	37
5.1	Zusammensetzung der Ausgangsdaten	37
5.2	Gegenüberstellung der Energieverbräuche und –Bedarfe	39
5.2.1	Darstellung der Energieverbrauchs- und Bedarfswerte	39
5.2.2	Einteilung in Energiebedarfsklassen	40
5.2.3	Exkurs: Korrelation Bedarf und Verbrauch	42
5.3	Prüfen von Gebäudemerkmalen/Abhängigkeiten	44
5.4	Analyse der Mehrverbraucher.....	48
6	ENTWICKLUNG VON VERBRAUCHSBENCHMARKS	53
6.1	Benchmarks nach Bedarfsklassen	53
6.2	Verbrauchswerte nach Gebäudemerkmalen	55
6.3	Vergleichswerte nach Gebäudemerkmalen (Verbrauchsstatistik)	57
7	EFFIZIENZBEURTEILUNG DURCH ABSCHÄTZUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS	59
7.1	Ausgangspunkt Verbrauchswert: Energiekennzahlverteilung (Literatur).....	59
7.2	Ausgangspunkt Energiebedarf	61
7.2.1	Erhebungsspezifische Minder- und Mehrverbräuche.....	61
7.2.2	Verfahren zur Verbrauchswertabschätzung	62
7.2.2.1	Verfahren der %-Abweichung	62
7.2.2.2	Anpassungsfaktor	62
7.2.3	Fehlerbetrachtung	65
7.2.3.1	Standardparameter	65
7.2.3.2	Hüllflächen	68

7.3	Verbrauchswertabschätzung	68
7.4	Zusammenfassung der Einflussgrößen	69
7.4.1	Unabhängige Einflussgrößen (Literatur)	70
7.4.2	Qualitative Einflussparameter.....	72
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	75
8.1	Kritische Hinterfragung des Ansatzes	75
8.2	Ausblick.....	76
8.3	Empfehlung/Hinweis	76
9	ZUSAMMENFASSUNG	78
GLOSSAR		IX
LITERATURVERZEICHNIS		X
ANHANG A-1: FLÄCHENSCHÄTZVERFAHREN.....		A-1
ANHANG A-2: U-WERTE		A-4
ANHANG A-3: RANDBEDINGUNGEN ANLAGENTECHNIK.....		A-5
ANHANG A-4: BERECHNUNGSVERFAHREN TABULA.....		A-6
ANHANG B: FRAGEBOGEN		A-12
ANHANG C: DIAGRAMME GEBÄUDEMERKMALE.....		A-28
ANHANG D: DATENÜBERSICHT		A-31
ANHANG E: FEHLERBETRACHTUNG.....		A-35
ANHANG F: VERGLEICHSWERTE VERBRAUCHSSTATISTIKEN.....		A-38
ANHANG G: KENNDATENBLATT		A-40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema der Methodik	3
Abbildung 2: Erster Fragebogenteil KVEP - Datengrundlage für die Flächenschätzung	10
Abbildung 3: Zweiter Fragebogenteil KVEP - Datengrundlage für die Abschätzung der U-Werte.....	11
Abbildung 4: Diagramm Verbrauch/Bedarf mit Winkelhalbierende.....	39
Abbildung 5: Verbrauch/Bedarf - nach Effizienzklassen.....	41
Abbildung 6: Verbrauch/Bedarf mit Trendlinie/Regression.....	43
Abbildung 7: Diagramm des Gebäudemerkmals 'Gebäudegröße'.....	44
Abbildung 8: Diagramm des Gebäudemerkmals 'Wärmeerzeuger'	45
Abbildung 9: prozentuale Abweichungen vom Bedarf abhängig von den Transmissionswärmeverlusten.....	46
Abbildung 10: Mehrverbraucher A.B_C.XL.KfW55	50
Abbildung 11: Mehrverbraucher C.B_C.XL.....	50
Abbildung 12: Mehrverbraucher C.B_C.S (1).....	51
Abbildung 13: Mehrverbraucher C.B_C.S (2).....	51
Abbildung 14: Gebäude der Effizienzklasse A	55
Abbildung 15: Gebäude der Effizienzklasse C	55
Abbildung 16: Gebäude der Effizienzklasse D	55
Abbildung 17: Kennzahlverteilung (Quantile 5 bis 95%) für fernwärmebeheizte Gebäude mit 2.000m² Wohnfläche.....	60
Abbildung 18: Sanierungspotential unsaniert/saniert eines gasbeheizten Gebäudes (500m²)	60
Abbildung 19: Verfahren Verbrauchswertabschätzung	62
Abbildung 20: Verbrauchs-/Bedarfskennwerte Heizung aus Mietspiegel-Projekt	63
Abbildung 21: Anpassung von Bedarfs- und Verbrauchswerte: Funktionsgleichung und Verhältnis von Verbrauch/Bedarf zum berechneten Bedarf.....	64
Abbildung 22: Anpassungsfaktoren inkl. Fehlerbalken.....	69
Abbildung 23: Deutschlandkarte des ista-IWH-Energieeffizienzindex 2012 (links) und regionale Verteilung des Gesamtendenergieverbrauchs (rechts).....	71
Abbildung 24: dynamische Verbrauchswertabschätzung mit Unschärfebereich.....	80
Abbildung 25: Gebäudemerkmal ‚Baualtersklasse‘	A-28
Abbildung 26: Gebäudemerkmal ‚Sanierungsstand‘	A-28
Abbildung 27: Gebäudemerkmal ‚vorliegende Verbrauchsjahre‘	A-29
Abbildung 28: Gebäudemerkmal ‚Lüftung‘	A-29
Abbildung 29: Gebäudemerkmal ‚Orientierung‘.....	A-30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auszug Pauschalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (Roof/Dach & UpperCeiling/oberste Geschossdecke).....	11
Tabelle 2: Auszug TABULA-Datenbank: System.DHW – Domestic hot water - heat generation.....	14
Tabelle 3: Auszug TABULA-Datenbank: System.Vent.....	14
Tabelle 4: TABULA-Standardrandbedingungen.....	16
Tabelle 5: Verbrauchskennwerte Brunata Metrona.....	21
Tabelle 6: Verbrauchskennwerte BMVBS-Publikation (11/2012)	21
Tabelle 7: Verbrauchskennwerte ista-IWH.....	22
Tabelle 8: Verbrauchskennwerte Techem: Auszug der Gebäudeklassen	23
Tabelle 9: Verbrauchskennwerte Techem (aufbereitet)	24
Tabelle 10: Ausschnitt Zusatzdaten Fragebogen.....	29
Tabelle 11: Datenübergabe der Wohnungsunternehmen	31
Tabelle 12: Bauteilezuordnung Wohnungsunternehmen/TABULA.....	32
Tabelle 13: Variation Verbrauchskennwert: Flächenbezug, Brennwert	35
Tabelle 14: Verteilung und Merkmale der erhobenen Gebäude.....	37
Tabelle 15: Bedarf, Verbrauch und Abweichung der Stichprobe	40
Tabelle 16: Bedarf und Verbrauch der Effizienzklassen.....	42
Tabelle 17: Regressions-Statistik Verbrauch/Bedarf.....	43
Tabelle 18: Mehrverbraucher Effizienzkategorie A.....	48
Tabelle 19: Mehrverbraucher - Klassenübergänge	49
Tabelle 20: Mehrverbraucher.....	50
Tabelle 21: Detail-Übersicht der Effizienzklassen	54
Tabelle 22: Ergebnis Benchmarks für Effizienzklassen.....	54
Tabelle 23: Kreuztabelle Gebäudemerkmale	56
Tabelle 24: Kreuztabelle Verbräuche nach Gebäudemerkmale	56
Tabelle 25: Kreuztabelle Verbrauchskennwerte aus Verbrauchsstatistik	57
Tabelle 26: Ergebnis Referenzwerte aus Verbrauchsstatistik	58
Tabelle 27: Merkmalsspezifische Minder- und Mehrverbräuche	61
Tabelle 28: Rahmenbedingungen Fehlerbetrachtung	65
Tabelle 29: Ergebnis nutzerbedingte Fehlerbetrachtung der Standardparameter	66
Tabelle 30: Ergebnis Fehlerfortpflanzung der nutzerbedingten Fehlerbetrachtung	67
Tabelle 31: Abweichung bei Flächenschätzung und Standardrandbedingungen	68
Tabelle 32: Benchmarks, Merkmale und Abweichungen	79
Tabelle 33: Eingabedaten Flächenschätzung	A-1
Tabelle 34: Basis Parameter	A-2
Tabelle 35: Betrachtung der Komplexität.....	A-3
Tabelle 36: U-Werte nach Baualtersklasse.....	A-4
Tabelle 37: Randbedingungen der Ermittlung der Kennwerte der Anlagentechnik.....	A-5
Tabelle 38: Fragebogen Deckblatt.....	A-12

Tabelle 39: Fragebogen ‚Gebäude&Anlage‘ (Arbeitsblatt 1)	A-14
Tabelle 40: Fragebogen ‚Verbrauch‘ (Arbeitsblatt 2).....	A-21
Tabelle 41: Fragebogen ‚Details‘ (Arbeitsblatt 3)	A-22
Tabelle 42: Fragebogen ‚Zusatzdaten‘ (Arbeitsblatt 4).....	A-24
Tabelle 43: Datenübersicht aller Gebäude.....	A-31
Tabelle 44: Fehlerbetrachtung/Variationsergebnisse	A-35
Tabelle 45: Verbrauchskennwerte Techem (aufbereitet)	A-38
Tabelle 46: Verbrauchskennwerte ista-IWH (aufbereitet).....	A-38
Tabelle 47: Verbrauchskennwerte Brunata-Metrona (aufbereitet).....	A-39
Tabelle 48: Verbrauchskennwerte BMVBS Online Publikation (11/2012) (aufbereitet)	A-39

Abkürzungsverzeichnis

Aufl.	Auflage
B_C	Brennwertkessel
Bd.	Band
bzw.	beziehungsweise
bspw.	beispielsweise
ca.	circa
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EnEV	Energieeinsparverordnung
etc.	et cetera
e.V.	eingetragener Verein
f.	folgende
ff.	fort folgende
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
i.d.R.	in der Regel
inkl.	inklusive
IEE	Intelligent Energy Europe (EU-Förderprogramm)
IWU	Institut Wohnen und Umwelt
k.A.	keine Angabe
kWh/(m ² a)	Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr = kWh/(m _{Wohn} ² a)
kWh/(m _N ² a)	Kilowattstunden pro Quadratmeter Nutzfläche (EnEV) und Jahr
MFH	Mehrfamilienhaus
S.	Seite
o.ä.	oder ähnliche(s)
sog.	sogenannte
TABULA	Typology Approach for Building Stock Energy Assessment (EU-Projekt/Konzept zur Bildung von Gebäudetypologien)
TS	Fernwärme
u.a.	unter anderen
usw.	und so weiter
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient [Einheit: W/(m ² K)]
vgl.	vergleiche
WE	Wohneinheit/ Wohnung
WSVO	Wärmeschutzverordnung
z.B.	zum Beispiel

1 Einführung

Motiviert wird die Arbeit durch die von der Bundesregierung formulierte Zielvorgabe des klimaneutralen Gebäudebestandes und dem fehlenden Monitoring nach der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen. Der erarbeitete Fragebogen wurde an Wohnungsunternehmen adressiert und die dabei erhobenen Gebäude- und Verbrauchsdaten analysiert und ausgewertet.

1.1 Motivation

Der Energieverbrauch des deutschen Gebäudebestandes soll bis 2050 klimaneutral werden, so das ausgeschriebene Ziel der Bundesregierung. Die dafür notwendigen energieeffizienten Sanierungen und Modernisierungen von Bestandsgebäuden, die mit 40 % zum gesamten deutschen Endenergiebedarf beitragen, setzen damit den Rahmen für den klima- und energiepolitischen Erfolg der Energiewende.¹ Diese werden bereits durch zahlreiche Förderprogramme (z.B. KfW-Förderung oder Vor-Ort-Beratung der BAFA) unterstützt, das nachträgliche Monitoring bleibt allerdings aus. So kommt es, dass im Einzelfall Passivhäuser auf dem Rechenblatt die vorgegebenen Standards zwar erfüllen, sich auf der Heizkostenabrechnung aber als doch recht ‚aktive‘ Häuser herausstellen. Als Energieeffizienzindikator gilt dabei der Energieverbrauch pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr. Dieser sinkt objektiv seit 1990 jährlich zwar um 1,68 %, bleibt damit allerdings hinter den Effizienzsteigerungen anderer Sektoren zurück, was auf ein hohes ungenütztes Potential hinweist.² Insbesondere bei Mehrfamilienhäusern werden die theoretischen Möglichkeiten oft nicht ausgeschöpft, da die Kosten und der Nutzen einer energetischen Sanierungsmaßnahme zweierlei Adressaten besitzen (sog. Mieter-Vermieter-Dilemma³). Mit insgesamt drei Millionen Mehrfamilienhäusern (17,7 % des Wohngebäudebestandes) vereinen sie über 50 % der Wohnungen und sind somit maßgeblicher Bestandteil der angestrebten Effizienzmaßnahmen.⁴ Die Skepsis gegenüber Investitionen wird weiter gesteigert, wenn die angestrebten berechneten Energieeinsparungen nicht erreicht werden. Zahlreiche Publikationen⁵ über die Analyse von Verbrauchswerten widersprechen sich hierbei, und werden oftmals negativ als Verfehlung der gesetzlichen Ziele gedeutet. Würden sanierte und modernisierte Gebäude nach der Umsetzung der energieeinsparenden Maßnahmen einem weiterführenden Monitoring unterzogen werden, könnte dadurch eine ausreichend große und empirische Datenbasis generiert werden, die eine belastbare Aussage über die Effizienz der bisher eingesetzten finanziellen, politischen und bautechnischen Mittel ermöglichen würde. Dass eine solche Umsetzung sinnvoll und möglich ist, zeigt das Beispiel Luxemburg: drei Jahre nach Abschluss der ener-

¹ vgl. BMWi, 2014, S. 8, 10.

² vgl. AGEb, 2015a, S. 6.1,3.

³ vgl. BDI, 2011, S. 1.

⁴ vgl. Zensus, 2014, S. 8,16.

⁵ vgl. Stumpf, 2014, S. 57.

getischen Sanierung muss der tatsächliche Endenergieverbrauch in den Energiepass nachgetragen werden.⁶

1.2 Untersuchungsgegenstand und Zielsetzung

Im Rahmen der Arbeit steht die Erhebung, der Abgleich und die Interpretation von Energiebedarfs- und Verbrauchsdaten im Fokus. Einen maßgeblichen Bestandteil, um diese Daten zu erheben, bildet ein erweiterter Fragebogen. Mit dessen Hilfe sollen maßgebliche und vom Wohnungsunternehmen ermittelbare Einflussparameter auf den Gebäudeenergieverbrauch erfragt und im Anschluss die berechneten Bedarfswerte den realen Verbrauchswerten übersichtlich gegenübergestellt werden. Durch Abgleich dieser Werte kann nachgeprüft werden, nicht nur ob überhaupt, sondern auch wie qualitativ hochwertig modernisiert wurde. Zielgruppe sind in erster Linie energetisch vollmodernisierte Mehrfamilienhäuser, deren Daten von den kooperierenden Wohnungsunternehmen zur Verfügung gestellt oder detaillierten Dokumentationen entnommen werden können. Durch die Sammlung einer größeren Anzahl von typischen Gebäudeeigenschaften und deren Energieverbräuchen lassen sich spezifische Abhängigkeiten und Erwartungsbereiche abschätzen. Um nun eine Einordnung der individuellen Kennwerte zu ermöglichen, stellen allgemeine und merkmalspezifische Richtwerte, hier die sog. Benchmarks, eine ideale Methode dar, mit der eine einfache Beurteilung der Effizienz und des Erfolges einer energetischen Sanierungsmaßnahme ermöglicht werden kann. Die Verifizierung der ausgeschriebenen Ziele macht die Erfassung der Verbrauchsdaten nach einer energetischen Sanierung unumgänglich.

1.3 Methodik

Die Arbeit folgt einem schlichten Erhebungs- und Auswertungsschema und ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Erhebung ging eine umfangreiche Literaturrecherche vorweg, um Parameter zu identifizieren und in die Erhebung einfließen zu lassen, die sich auf den Energieverbrauch von Gebäuden auswirken können. Parallel zur Datenerhebung erfolgte der Aufbau einer Auswertungssystematik, deren grundsätzliche Rechenschemata sich an dem TABULA-Verfahren (siehe Kapitel 2.4) orientierten. Mit Eingang der benötigten Informationen wurden diese homogenisiert und an den Rahmen des Verfahrens angepasst. Auf diesem Weg konnten die Daten direkt weiterverarbeitet und die Energiebedarfe dem Verfahren entsprechend berechnet werden. Mit den so ermittelten Werten wurde in den Prozess der Auswertung und Analyse übergegangen. Die Daten für Bedarf und Verbrauch wurden grafisch dargestellt, um einen ersten Eindruck über die Größenordnungen zu vermitteln und erste Ausreißer visuell zu identifizieren. Der Gegenüberstellung geht dabei stets die Frage einher, warum es überhaupt zu Differenzen zwischen theoretischen Bedarfs- und realen Verbrauchswerten kommt, ob sich dabei Charakteristika feststellen lassen und inwiefern diese Einfluss auf die Effizienz ausüben.

⁶ vgl. Merzkirch, Hoos, Maas, Scholzen, & Waldmann, 2014.

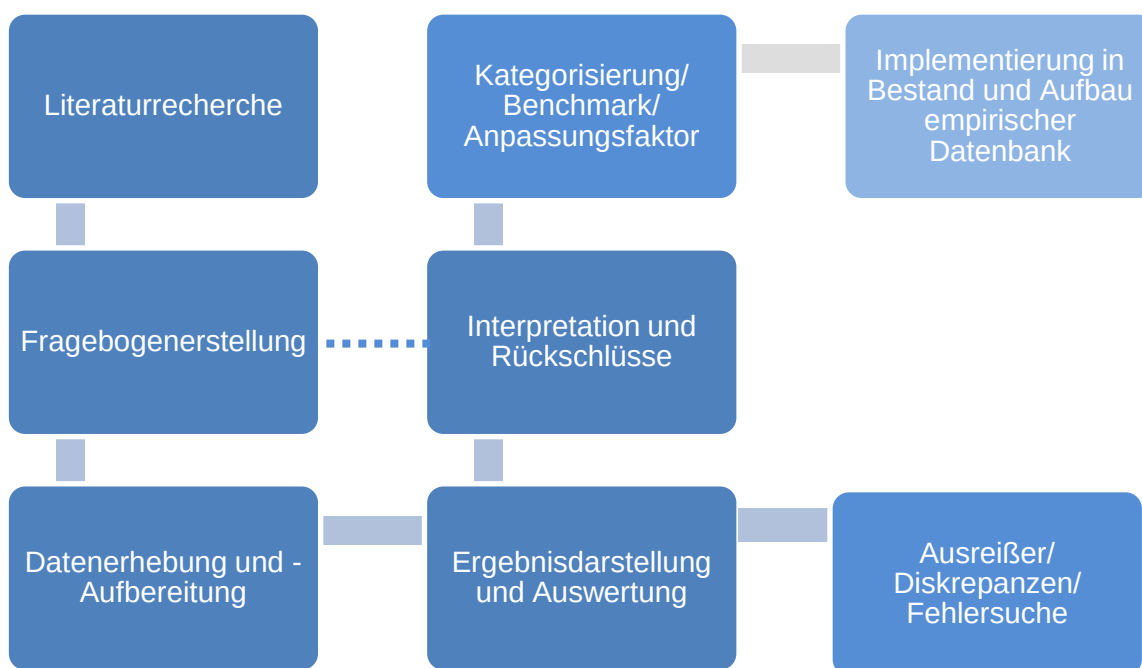


Abbildung 1: Schema der Methodik⁷

Im nächsten Schritt werden die detaillierten Ergebnisse interpretiert und abhängig von charakteristischen Gebäudeeigenschaften und Höhe der zugehörigen errechneten Bedarfswerte in Bedarfskategorien⁸ eingeteilt, für die Richt- und Mittelwerte bzw. Mediane gebildet werden. Diese zeigen die realisierten Spannen der Energieverbräuche auf und geben den Rahmen vor, in dem der zu erwartende Energieverbrauch liegen sollte. Durch die Darstellung der Verhältnisse von Verbrauchs- und Bedarfswert können zusätzlich dynamische Anpassungsfaktoren gebildet werden. Unter Zuhilfenahme einer nutzerbezogenen Fehlerbetrachtung der Standardparameter in der Bedarfsrechnung ist die Abschätzung konkreter Verbrauchsbereiche möglich. Demgegenüber werden noch weitere Möglichkeiten und Verfahren (bspw. Regressionsanalyse) zur Verbrauchsabschätzung dargestellt. Der gesamte Interpretationsprozess erlaubt abschließend Rückschlüsse auf den anfänglich eingesetzten Fragebogen und gibt ggf. Verbesserungsvorschläge aus. Die Implementierung der gewonnenen Informationen in den Bestand und die Umsetzung eines validen Gebäudemonitorings stellt die zukünftige Aufgabe dar, wozu diese Arbeit einen Ansatz bilden soll.

⁷ eigene Darstellung.

⁸ Synonym für die Bedarfskategorien werden in dieser Arbeit auch die Begriffe ‚Effizienzklasse‘ und ‚Bedarfsklasse‘ verwendet.

2 Grundlagen

Im Grundlagenteil werden kurz die Gesetze, Richtlinien und Normen auf europäischer und deutscher Ebene erläutert, die nicht nur die Gebäudedaten, sondern auch die Verbrauchserfassung regulieren. Es wird ein Überblick über die bekannten Einflussgrößen Gebäudehülle, Anlagentechnik und Nutzer gegeben und im Anschluss das angewendete Erhebungsverfahren nach dem Kurzverfahren-Energieprofil (KVEP) und das Berechnungsverfahren gemäß TABULA dargestellt. Diese ermöglichen die Nachvollziehbarkeit der ermittelten Bedarfswerte. Alle verwendeten Kalkulationsgrundlagen und -Rahmenbedingungen sind auch in Anhang A zu finden. Die im Anschluss dargestellten Verbrauchsstatistiken geben eine erste Orientierung über die bisherige Erfassung von Verbräuchen und die jeweilige Bildung der entsprechenden Verbrauchskennwerte.

2.1 Richtlinien und Normen

Grundlage der nationalen Bestrebungen im Gebäudesektor ist die derzeitige **EU-Richtlinie 2010/31/EU zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden** alias EPBD (European Directive on Energy Performance of Buildings). Die darin enthaltenen Mindestanforderungen richten sich an Neubauten ebenso wie an Bestandsgebäude und haben zum Ziel, die Gesamtenergieeffizienz im Gebäudesektor zu erhöhen. Dazu gehören u.a. die integrale Betrachtung von Gebäudehülle und den gebäudetechnischen Systemen, die Einführung geeigneter Berechnungsverfahren zur Energieeffizienzbewertung, die Übernahme des Niedrigstenergiestandards für Gebäude bis 31. Dezember 2020 (Artikel 9) und die Pflicht zur Erstellung von bedarfs- oder verbrauchsorientierten Energieausweisen.⁹ Der beschriebene Niedrigstenergiehausstandard bzw. der ‚Nearly Zero-Energy Building (NZEB) Level‘ war ebenfalls Anlass für eine aktuell laufende Erweiterung der Gebäudetypologie¹⁰ im Rahmen des TABULA-Projekts (Details zum TABULA-Projekt siehe Kapitel 2.4.1).¹¹

Nationale Umsetzung fand die Richtlinie in der **Energieeinsparverordnung (EnEV)**. Die ‚Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden‘ beinhaltet u.a. Höchstwerte und konkrete Anforderungen für Außenbauteile, die Dichtheit eines Gebäudes, die Inbetriebnahme von Heizkesseln und der Dämmung der Rohrleitungen. Ebenfalls sind Muster-Vorlagen für die Energieausweise enthalten. Als Berechnungsverfahren wird das detaillierte Verfahren der DIN V 18599 (Energetische Bewertung von Gebäuden) vorgeschrieben, wobei für Wohngebäude auch das Monatsbilanz-Verfahren der DIN V 4108 (Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden) bzw. für die anlagentechnische Bewertung die DIN V 4701-10 (Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen) herangezogen werden kann. Als Basisnorm der DIN V 4108-6 galt die DIN EN 832 (Wärmeschutztechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude), die mittlerweile durch die DIN EN 13790 (Energieeffi-

⁹ vgl. Europäisches Parlament und Rat der europäischen Union, 2010, S. Artikel 1.

¹⁰ Die Gebäudetypologie beschreibt für verschiedene Baualtersklassen, die in der jeweiligen Bauperiode typischen Eigenschaften, u.a. Konstruktion, Architektur und energetische Qualität; vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 5.

¹¹ vgl. EPISCOPE, 2014, S. 1.

zienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung) ersetzt wurde.¹² Die aufgeführten Bewertungsnormen beziehen sich auf die deutschen Bewertungsvorgaben, in dieser Arbeit wird hingegen das Heizperiodenbilanzverfahren gemäß TABULA und dem europaweiten IEE-Projekt angewendet.

Neben den vorgestellten Normen und Richtlinien werden die nationalen Effizienzbemühungen auch in **Plänen und Bekanntmachungen** bekräftigt, bspw. im ‚Nationalen Aktionsplan Energieeffizienz (NAPE)‘ oder im ‚Sanierungsbedarf im Gebäudebestand‘ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Um die allgemeinen Anforderungen v.a. im Bereich der Energieverbrauchskennwerte weiter zu spezifizieren, erfolgten Bekanntmachungen für Datenaufnahme und Datenverwendung und Regeln zur Ermittlung von Energieverbrauchswerten. Bei diesem Verfahren werden 36 Monate bei der Verbrauchskennwert-Ermittlung zu Grunde gelegt, Witterungs- und Leerstandsbereinigungen vorgenommen und entspricht damit dem Berechnungsvorgehen verbrauchsbasierter Energieausweise.¹³ Zur Förderung der Vergleichbarkeit von Verbrauchskennwerten wurde mit der **VDI 3807** eine Richtlinie erarbeitet, die die Grundlagen der Ermittlung (Einteilung nach Gebäudetypen, Bezugsgrößen, Außentemperaturbereinigung) regelt und im zweiten Teil auch zugehörige Vergleichswerte liefern soll. Sie beinhaltet eine breite Spanne möglicher Flächen- und Vergleichsgrößen, abhängig von der jeweils passendsten Bezugsgröße (von der Grundfläche eines Gebäudes über Personen- bis Bettenanzahlen bei Krankenhäusern).¹⁴

Da für die Verbrauchswertermittlung die Heizkostenabrechnungen eine zentrale Rolle spielen, sei in diesem Zusammenhang auf die aktuelle Fassung der **Heizkostenverordnung** verwiesen. Die ‚Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten‘ regelt die Kostenverteilung bei zentralen Warmwasserversorgungsanlagen, ebenso wie Wärme- und Warmwasserlieferungen. Der Flächenbezug kann sowohl die Nutzfläche nach DIN 277 als auch Wohnfläche sein. Als zentrale Neuerung gilt die ab 2014 gültige Pflicht zur verbrauchsabhängigen Erfassung der zur Erhitzung des Warmwassers benötigten Wärmemenge mittels Wärmezähler. Davor konnte diese pauschal, für den Fall dass weder Wärmemenge noch Volumen des Warmwassers gemessen werden konnten, mit einem Anteil von 32 kWh/(m²a_{Wohn}) berücksichtigt werden.¹⁵ Bis zur Heizkostenverordnung 2008 wurde Warmwasser ebenfalls pauschal mit 18 % der Gesamtwärmemenge angenommen und verrechnet.

2.2 Kenngrößen für die energetische Qualität

Bei der alleinigen Betrachtung der Energieeffizienz eines Gebäudes liegt das Augenmerk auf der Qualität der Gebäudehülle und der Anlagentechnik. Faktoren wie Nutzerverhalten oder klimatische Bedingungen gehen in die Bedarfsbilanzierung lediglich als Standardrandbedingung mit ein. Die Gebäudehülle wird in diesem Abschnitt allgemein beschrieben und

¹² vgl. Gierga & Staniszewski, 2014, S. 73.

¹³ vgl. BMWi & BMUB, 2015a und BMWi & BMUB, 2015b.

¹⁴ vgl. VDI 3807 Blatt 2, 2014, S. 7.

¹⁵ vgl. HeizkostenV, 2009, S. 3 f.

bei der Anlagentechnik ein kleiner Überblick über die vielfältigen Systeme gegeben. Die weiteren Faktoren¹⁶ werden nachfolgend kurz dargestellt.

2.2.1 Gebäudehülle

Bei Sanierungen von Bestandsgebäuden wird zu allererst eine energetische Aufwertung (i.d.R. durch Dämmung) der Gebäudehülle in Betracht gezogen. Die Gebäudehülle umfasst alle an die Außenluft, an das Erdreich oder an unbeheizte Gebäudезonen angrenzende Bauteile und ‚umschließt‘ den Wohnbereich. Ziel ist es, diesen Bereich mit ausreichend Wärme und Frischluft zu versorgen, um die Behaglichkeit und die hygienischen Mindestanforderungen der darin lebenden Bewohner sicherzustellen. Während in neueren Gebäuden die Aufgabe der Frischluftversorgung immer mehr der Anlagentechnik obliegt, muss die Gebäudehülle den Anforderungen an den Wärmeschutz gerecht werden. Der Transmissionswärmeverlust dient hier als Referenzwert, dieser „beschreibt die durchschnittliche energetische Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsflächen [...] eines Gebäudes.“¹⁷ Er bezeichnet die Wärmemenge, die durch einen Quadratmeter (m^2) Gebäudehülle bei einer Temperaturdifferenz von einem Kelvin (K) entweichen kann. Damit ist dieser nicht nur von der Höhe der Innen- und Außentemperatur (klimatischen Bedingungen) abhängig, sondern auch vom geometrischen Aufbau und den materiellen Eigenschaften der Bauteile. Diese variieren je nach Baualter, Konstruktionsprinzipien, standortspezifischen Eigenheiten, Qualität der Bauausführung und Sanierungsstand deutlich. Die Aufwendungen, um die nötige Gebäudedichtheit (DIN 4108, Beiblatt 7) herzustellen und die Höhe des Einflusses der Wärmebrücken (DIN 4108, Beiblatt 2), sind ebenfalls davon abhängig. Die Anbausituation und die Komplexität der Gebäudegeometrie haben zudem maßgeblichen Einfluss auf das Verhältnis von Bauteilfläche und Wohnfläche.¹⁸ Mit steigenden gesetzlichen Anforderungen haben sich auch die Bauteile aus dem Blickwinkel der Wärmeverlustkoeffizienten verbessert. Durch hohe Dämmstoff-Dicken und den höheren Standards, gemäß dem ‚Stand der Technik‘, verschwimmen die Abhängigkeiten zur Baualtersklasse stetig. So ergibt sich für ein mit 30 cm gedämmtes, massives Dach eines 1963 gebauten Mehrfamilienhauses ($U_{\text{original}} = 2,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) ein U-Wert von $0,095 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ¹⁹, und damit ein deutlicher besserer Wert als ihn die aktuelle EnEV für den Neubau fordert.²⁰

2.2.2 Anlagentechnik

Neben der Gebäudehülle ist auch der Einbau einer zentralen Versorgungseinheit ein häufiger Bestandteil einer energetischen Aufwertung. Ihre Aufgabe ist diejenige Wärme und Frischluft zu liefern, die der Bewohner für seine Behaglichkeit innerhalb der Gebäudehülle benötigt. Das Spektrum der im Gebäude verbauten Anlagentechnik ist im Laufe der letzten Jahrzehnte größer geworden. Die Systeme zur Beheizung von Räumen und Warmwasser haben sich von dezentralen Versorgungseinheiten immer mehr zu Zentralheizungen entwi-

¹⁶ entsprechen den Faktoren im IEA Annex 53-Bericht; vgl. Bednar & Korjenic, 2014, S. 5.

¹⁷ EnEV, 2013, Energieausweis S.5.

¹⁸ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 5.

¹⁹ gerechnet mit einem Lambda-Wert von $0,03 \text{ W}/(\text{mK})$.

²⁰ vgl. EnEV, 2013, Tabelle 1.

ckelt, und sich um die Komponente ‚Lüftungsanlage‘ (mit/ohne Wärmerückgewinnung) erweitert.²¹ Die Zentralheizung ist inzwischen mit fast 70 % die mit Abstand häufigste Heizungsart, dieser folgt die Fernwärmeversorgung mit 12,3 % nach.²² Neben den konventionellen Warmwasserheizungen sind v.a. auch in Passivhäusern Luftheizungen möglich. Die Struktur der Heizungssysteme, die insbesondere bei älteren unsanierten Mehrfamilienhäusern noch in Gebrauch sind, unterscheidet sich hier deutlich vom Neubau. Sowohl Gas-Etagenheizungen als auch dezentrale (raumweise) Heizgeräte, wie Einzelöfen und Nachtspeicher, wurden verbaut. Bei den Energieträgern dominiert sowohl im Bestand als auch beim Neubau das Erdgas. Bei Bestandsgebäuden sind zudem die Heizölversorgung (26,8 %) und die Fernwärmeversorgung (13,6 %) in großen Anteilen vertreten.²³ Auch Biomasse-Kessel (insbesondere Pellets und Holzhackschnitzel), Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke (BHKW) sind mittlerweile im Bestand vorzufinden. Bei der Warmwasserversorgung kann zwischen einer Kombination mit der Zentralheizung, brennstoffgespeisten Systemen, wie Kessel oder Durchlauferhitzer, elektrische Durchlauf- und Speicherheizgeräte und mit Gas befeuerten Speichern unterschieden werden.²⁴

Ausgehend von vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten der Wärmeerzeuger darf auch die Verteilung und Speicherung nicht außer Acht gelassen werden. Hinsichtlich der Wärmeverluste und derer potentiellen Rückgewinnung ist es relevant, ob diese (un-) gedämmt außer- oder innerhalb der thermischen Hülle liegen. Je nach Erzeuger, Aufstellort, Lage und Baualter der Anlage ergeben sich verschieden hohe Aufwandszahlen und Wärmegewinne, die im Idealfall mit der Konzeption der Gebäudehülle im optimalen Verhältnis stehen.

2.2.3 weitere Faktoren

Als weiterer großer Einflussparameter stellt neben den bauphysikalisch bilanzierbaren Größen der Nutzer dar. Dieser nimmt v.a. durch individuelle und von den Standard-Randbedingungen abweichende Vorlieben bei Innentemperatur und Lüftungsverhalten auf den Energieverbrauch im Gebäude Einfluss. Dieser Nutzereinfluss kann in bestehenden Mehrfamilienhäusern eine Variation von bis zu 30 % verursachen und wird in der Bedarfsrechnung bisher nicht realitätsnah abgebildet.²⁵ Durch höhere Komfortansprüche, die sich insbesondere in höheren Innentemperaturen und Raumluftqualitäten widerspiegeln, scheinen in energetisch hochwertigen Gebäuden die erhofften Energieeinsparungen oftmals geringer auszufallen oder gar auszubleiben.²⁶

Weitere Einflussparameter sind bei den klimatischen Bedingungen des jeweiligen Standortes zu finden. Es zeigt sich, dass das Heizverhalten und der Energieverbrauch durch regionale Gegebenheiten auch innerhalb Deutschlands stark variieren. Desweiteren können auch der Gebäudebetrieb und die regelmäßige Wartung der Anlagentechnik diese positiv (oder

²¹ vgl. Albers, 2015b, S. 1322.

²² vgl. Zensus, 2014, S. 25.

²³ vgl. AGEb, 2015b, S. 1.9 f.

²⁴ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 24 f.

²⁵ vgl. Raschper, 2010a, S. 82.

²⁶ vgl. Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014, S. 1.

auch negativ) beeinflussen. Die im Bestand oftmals überdimensionierten Anlagen werden beim Einsatz neuer Heizungssysteme nicht korrekt abgeglichen, die Vor- und Rücklauftemperaturen sind zu hoch oder fehlende hydraulische Abgleiche sind nur einige anlagentechnische Beispiele, die Mehrverbräuche verursachen können.²⁷

2.3 Kurzverfahren-Energieprofil (KVEP)

Nur durch die Nachfrage einfacher Rahmendaten lassen sich mit dem Kurzverfahren-Energieprofil die zur Energiebilanz notwendigen Flächen, Wärmekoeffizienten und anlagenspezifische Parameter abschätzen. Nach einer kurzen Zusammenfassung folgen die genauen Schritte des Verfahrens, auf dessen Konzept der erstellte Fragebogen beruht.

2.3.1 Zusammenfassung KVEP

Das Kurzverfahren-Energieprofil (kurz KVEP) wurde 2005 im Rahmen des Projekts 'Entwicklung eines vereinfachten statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden' entwickelt. Mit diesem Verfahren ist es möglich, anhand eines kurzen Erhebungsbogens die ausschlaggebenden Parameter (siehe Kapitel 2.2.1 und 2.2.2) für die energetische Bilanzierung eines Gebäudes zu erfassen. Ziel des Projekts war es, den Aufwand für die Datenaufnahme mit Hilfe von Vereinfachungen wesentlich zu reduzieren, wodurch das Verfahren v.a. für die Energieprofilerstellung größerer Gebäudebestände konzipiert ist.²⁸ Die Vereinfachungen untergliedern sich in:

- Flächenschätzverfahren
- Pauschale U-Werte
- Pauschalwerte Anlagentechnik

Das Flächenschätzverfahren basiert auf einer Gebäudestichprobe von über 4.000 Wohngebäuden, bei denen einzelnen Bauteilflächen der Außenhülle zur Wohnfläche ins Verhältnis gesetzt wurden. Das Verfahren vermeidet den Zeitaufwand einer detaillierteren Erhebung durch eine stark vereinfachte Detailtiefe und minimiert das Risiko einer fehlerbehafteten Flächenermittlung. Aus einer geringen Anzahl an Basisdaten können anhand fester Parameter die Flächen für das Dach/oberste Geschossdecke, Außenwand (gegen Außenluft und Erdreich), Bodenplatte/Kellerdecke, Fenster und Außentüren abgeschätzt werden. Angewandt auf die genannte Gebäudestichprobe zeigte es sich valide: die Standardabweichung der Transmissionswärmeverluste zwischen den detaillierten und den vereinfachten Flächenwerten lag lediglich bei 15 %, wodurch sich „der Heizwärmebedarf von Bestandsgebäuden mit einer für viele Anwendungen ausreichenden Genauigkeit ermittel[n] lässt.“²⁹ Durch die Einstufung anhand des Baujahres in Baualtersklassen und der Kenntnis über die Konstruktionsart lassen sich pauschale U-Werte für die einzelnen Bauteile ablesen. Ist zusätzlich auch die Dicke der Dämmung bekannt, kann für jedes Bauteil ein effektiver U-Wert berechnet werden, der einen ersten Eindruck über die Qualität der Gebäudehülle vermittelt.

²⁷ vgl. Stumpf, 2014, S. 52.

²⁸ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. iii.

²⁹ Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-1.

Für die Anlagentechnik werden abhängig vom Erzeuger, Einbaujahr und der Verteilungsart für die Heizungs- und Warmwassersysteme pauschale Verluste für Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung ermittelt. Die Werte entstammen der aktuellen Normenlage zur Anlagentechnik und ergänzenden Quellen. Der Berechnungsverlauf orientiert sich dem Tabellenverfahren der DIN V 4701-10 Anhang C.³⁰

Mit der Umsetzung der einzelnen Verfahrensschritte im Fragebogen ging eine breite Sensibilisierung für die gebäudetechnischen Zusammenhänge einher, die für die Datenaufbereitung und –Analyse notwendig war. Aus diesem Grund wird das Verfahren nachfolgend in seinen einzelnen Schritten detailliert dargestellt.

2.3.2 Flächenschätzverfahren

Mit Hilfe der Flächenschätzung soll der Aufwand für ein direktes Aufmaß vor Ort vermieden werden, da die Bauteilflächen nur mit Angabe spezieller und leicht zu erhebender Parameter abgeschätzt werden können. „Die grundlegende Hypothese ist, dass es eine ausreichend gute Korrelation der Hüllflächen mit der Wohnfläche gibt. Dies begründet sich darin, dass die Wohnfläche eines beheizten Geschosses – unter Voraussetzung einer typischen (festen) Gebäudetiefe – proportional zur Länge des Gebäudes ist.“³¹ Auch für die vereinfachte Erhebung sind Basisdaten notwendig, anhand derer alle Bauteilflächen errechnet werden können. Dazu gehören: Anzahl der Vollgeschosse, Wohnfläche, Baualter, Grundrisstyp, die Anbausituation, Ausbausituation von Dach- und Kellergeschoss, die Raumhöhe und Besonderheiten beim Dachaufbau. Wie dies im dazugehörigen Fragebogen zum KVEP umgesetzt wird, zeigt Abbildung 2.

³⁰ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. iii, I-1, IV-2.

³¹ Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-2.

Simplified Energy Profile Procedure		Form building	
Building	Test.001	Construction year	1901
Variant	Ist-Zustand	Number of apartments	1
TABULA reference floor area per storey	199,0 m ²	Room height	2,51
Number of full storeys (not including cellar and attic)	1	(input only if < 2,30 m or > 2,7 m)	
Attached neighbour buildings ☒ None (detached)  ☐ One side (semi-detached)  ☐ Two sides (terraced) 		Floor shape ☐ Very compact  ☒ Normal  ☐ Complex or extended 	
Attic ☐ Not available (flat roof or slightly tilted roof)  ☐ Not heated  ☐ Not heated, insulated at rafter level  ☒ Partly heated  ☐ Partly heated, insulated at rafter level  ☐ Completely heated  ☒ Complex geometry of roof area (e.g. dormers)		Cellar / basement ☐ Not available  ☒ Not heated  ☐ Not heated, envelope area insulated  ☐ Partly heated  ☐ Partly heated, envelope area insulated  ☐ Completely heated 	

Abbildung 2: Erster Fragebogenteil KVEP - Datengrundlage für die Flächenschätzung³²

Die nachgefragten Basisdaten haben großen Einfluss auf die Verluste und Größe der Außenflächen, z.B. vergrößert das Vorhandensein von Gauben oftmals die Verluste (20-40%) und die Hüllflächen (10-30%).³³ Insbesondere die Wohnfläche und die Anzahl der Vollgeschosse gelten dabei als Repräsentant für die Gebäudegröße und sind Grundlage späterer Einteilungen. Eine detaillierte Darstellung der Eingabedaten und deren zugehörige Erläuterungen sind im ‚Anhang A-1: Flächenschätzverfahren‘ bzw. Tabelle 33 zu finden.

2.3.3 Pauschale U-Werte

Um die wärmetechnische Qualität der Bauteile grob abzubilden, bedarf es im KVEP der Kenntnis des Baujahres (für eine Einordnung in eine Baualtersklasse) und der Konstruktionsart (massiv/Holz). Da Wärmeschutzmaßnahmen die Qualität erheblich verbessern können, werden auch die Dicke der Dämmung und der dazugehörige Flächenanteil der Dämmmaßnahme abgefragt. Für diese wird eine pauschale Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,04 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ angesetzt. Lediglich bei den Fenstern wird darüber hinaus die Information des Einbaujahres erhoben, da diese im Laufe der Jahrzehnte oftmals bereits in früheren Modernisierungen ausgetauscht wurden. Zusätzlich werden Fragen über die Anzahl der Scheiben und das Rahmenmaterial gestellt, da auch diese maßgeblichen Einfluss auf die wärmetechnische Qualität haben.

³² aktuelles Layout des KVEP-Fragebogens; Originalversion: Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-1.

³³ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-15.

nische Qualität der gesamten Fensterkonstruktion haben.³⁴ Abbildung 3 zeigt die Umsetzung im KVEP.

Thermal envelope (non-transparent elements)

	Construction type	Insulation	Insulation thickness	On percentage of the area				
	Massive	Wood	Not available / unknown	Original	Installed during refurbishment	Year of refurbishment	Insulation thickness	On percentage of the area
Roof	☐	☒	☐	☐	☒	1986	4 cm	80 %
Top storey ceiling	☐	☒	☐	☐	☒	0	0 cm	0 %
Wall	☒	☐	☒	☐	☐	0	0 cm	0 %
Floor to cellar or soil	☒	☐	☐	☒	☐	0	0 cm	0 %

Windows

	On percentage of the area	Glazing	Frame	Passive house window (insulated frame + Low-E triple-pane glass)	Year of Installation or upgrade					
		Single-pane	Double-pane	Triple-pane	Low-E coating	Wood	Plastic	Aluminium / steel	Other or unknown	
Main window type		☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	☐	
Further window type	0 %	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	0

(Rest = main window type) (U ≤ 0.8 W/(m²K))

Abbildung 3: Zweiter Fragebogenteil KVEP - Datengrundlage für die Abschätzung der U-Werte³⁵

Ein Auszug, wie stark die U-Werte in Abhängigkeit von Baujahr und Konstruktionsart variieren können, ist für die beiden Bauteile ‚Dach/Roof‘ und ‚oberste Geschossdecke/UpperCeiling‘ in Tabelle 1 dargestellt. Die ersten beiden Spalten umspannen den Zeitraum der jeweiligen Baualtersklasse, diesen folgen die konstruktionstypischen U-Werte nach. Ist keine Angabe zur Konstruktion (massiv/hölzern) vorhanden, wird der ‚Default‘-Wert angesetzt, der jeweils von einer konservativeren Abschätzung des Wärmedurchgangs ausgeht.³⁶

Tabelle 1: Auszug Pauschalwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten (Roof/Dach & UpperCeiling/oberste Geschossdecke)³⁷

Construction Year	Construction Year	U_Roof			U_UpperCeiling		
earClass_First Year	earClass_Last Year	default	massive	wooden	default	massive	wooden
first year of the construction period	last year of the construction period	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)	W/(m²K)
0	1859	2,60	2,10	2,60	1,00	2,10	1,00
1860	1918	2,60	2,10	2,60	1,00	2,10	1,00
1958	1968	1,40	2,10	1,40	2,10	2,10	0,80

³⁴ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. II-5 ff.

³⁵ aktuelles Layout des KVEP- Fragebogens, Originalversion: Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. II-1.

³⁶ Die Werte entstammen den in Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. II-4 dargestellten Quellen.

³⁷ Loga, 2015, S. Tab.U.Class.Constr.

1969	1978	0,80	0,60	0,80	0,60	0,60	0,60
1979	1983	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40
1984	1994	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,30
1995	2001	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
2002	2009	0,23	0,23	0,23	0,30	0,30	0,24
2010	2015	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
2016	9999	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

Die U-Werte der Holzkonstruktionen, wie sie v.a. bei Steildächern verbaut wurden, haben in der Regel geringere Wärmeleitfähigkeiten als massive Konstruktionen. Die Konstruktionsvarianten haben sich in jüngerer Vergangenheit angenähert, sodass sich diese Varianzen ausgeglichen haben. Dieselbe Darstellung inkl. der Außenwände und Kellerdecken/ -Böden ist auch in der Datenbank vorhanden. Ein Auszug ist in ‚Anhang A-2: U-Werte‘ hinterlegt.

Sind die U-Werte $U_{0,i}$ der ursprünglichen Konstruktion bekannt, erfolgt im Fall einer nachträglichen Dämmung der Dicke $d_{ins,i}$ ein verbessernder Zuschlag. Dieser wird mittels der Formel:³⁸

$$U_{eff,i} = \frac{1}{\frac{1}{U_{0,i}} + \frac{d_{ins,i}}{\lambda_{ins,i}} + R_{add,i}} \quad [W/(m^2K)]$$

verrechnet. Für die Fenster kann in der TABULA-Datenbank abhängig von der Scheibenanzahl, der Kenntnis über die Wärmeschutzverglasung, des Einbaujahres und des Materials des Rahmens der U-Wert identifiziert werden. „Da Wärmeschutzverglasungen mit Einführung der Wärmeschutzverordnung 1995 sprunghaft einen bedeutenden Marktanteil erlangten, wird vereinfachend das Einbaujahr der Fenster als Indikator für das Vorhandensein von Beschichtung und Edelgasfüllung vorausgesetzt.“³⁹ Zusätzlich kann in der aktuellen Fassung des Fragebogens angegeben werden, ob eine Dämmung des Rahmens („Thermal Break“) oder Passivhausfenster vorliegen (siehe Abbildung 3). Als zusätzliche Information ist in der Fenster-Datenbank nicht nur der U-Wert, sondern auch der Gesamtenergiedurchlassgrad $g_{\perp}$ enthalten, der bei Berechnung der solaren Gewinne berücksichtigt wird.

2.3.4 Pauschalwerte Anlagentechnik

Auch bei der Anlagentechnik steht eine vereinfachte Datenerhebung im Vordergrund, bei der mittels überschaubaren zeitlichen und kalkulatorischem Aufwand ein hinlänglich genaues Ergebnis erzielt werden soll.⁴⁰ Die Energiebilanzen orientieren sich an der DIN 4108-6 und der DIN V 4701-10 bzw. -12. Die Genauigkeit des Verfahrens wurde 2005 überprüft und belief sich beim Primärenergiebedarf mit einem Mittelwert der Abweichung im Vergleich zu einem ausführlicheren Verfahren auf lediglich 1 %. Die Standardabweichung wurde dabei

³⁸ Loga & Diefenbach, 2013, S. 10. Die Formel ist auch in ‚Anhang A-4: Berechnungsverfahren TABULA‘ im Rahmen des kompletten Berechnungsganges dargestellt.

³⁹ Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. II-11.

⁴⁰ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. III-6.

auf 6 % beziffert.⁴¹ Für die Ermittlung des Energiebedarfs ist die Kenntnis über die Art des Wärmeerzeugers, der Speicherung und der Verteilung für Heizung und Warmwasser sowie deren Baualter und Aufstellort (innerhalb/außerhalb der thermischen Hülle) ausreichend. Die Kennwerte entsprechen dem Schema der DIN V 4701-10 und beinhalten dabei u.a. die Aufwandszahlen für die Wärmeerzeugung (unterschieden nach Trinkwarmwasser und Heizung), die Energieverluste für die Verteilung und Speicherung von Trinkwarmwasser und Heizwärme und die Heizwärmegutschriften aus den Warmwasserverlusten. Die Hilfsenergien sind ebenfalls angegeben.

Die wesentlichen Randbedingungen der 2005 ermittelten Werte für die Ermittlung der Anlagenverluste sind in ‚Anhang A-3: Randbedingungen Anlagentechnik‘ dargestellt. Die Heizgrenztemperatur hat sich im Zuge der verbesserten Gebäudehülle sanierter Gebäude mittlerweile von 15 °C auf 12 °C abgesenkt. Bei der Berücksichtigung einer Auslegungstemperatur von 70°/ 55 °C für Vorlauf und Rücklauf, wird von einem „typischen Betrieb“ ausgegangen. Dabei wurde kein hydraulischer Abgleich für das Verteilnetz durchgeführt und zudem eine flach eingestellte Heizkurve veranschlagt. Details zur Auslegung können im Anhang B der KVEP-Publikation nachgeschlagen werden. Da die EnEV und die DIN V 4701-10 von einem optimalen Betrieb ausgehen (äußert sich in verminderten Systemtemperaturen), kann auch dieser Betriebszustand angesetzt werden.⁴²

Die bei den Pauschalwerten verwendete Bezugsfläche bildet, wie beim gesamten Kurzverfahren, die beheizte Wohnfläche, weswegen die Werte von den in der DIN 4701-10 genannten Werten abweichen. Das Verhältnis dieser beiden Bezugsgrößen beläuft sich auf 1,25 (siehe Tabelle 33 beheizte Wohnfläche). Der Nutzwärmebedarf der Warmwasserversorgung wird folglich ebenfalls auf die beheizte Wohnfläche bezogen und wird mit 15 kWh/(m²a) berücksichtigt.

Der Aufbau der Tabellen ist für Warmwasser und Heizung ähnlich. Ein Auszug für die Aufwandszahlen (e_g_w_Heat) der Warmwasser-Erzeugersysteme (DHW - domestic hot water – heat generation) zeigt hier beispielhaft Tabelle 2. Diese sind nicht nur von der Art des Erzeugers abhängig, sondern auch davon, in welchem Jahr dieser erstmals (year1_SysWG) oder letztmals (year2_SysWG) eingebaut bzw. erneuert wurde. Die in der Erhebung am häufigsten vorkommenden Systeme waren dabei: ‚Brennwertkessel ab 1995‘, ‚Brennwertkessel ab 1995/verbessert‘ und ‚Fernwärme‘. Der verbesserte Kessel bezieht sich dabei auf den optimalen Betrieb der Anlage, von dem in der EnEV ausgegangen wird. Ebenfalls dargestellt ist die Aufwandszahl für solarthermische Anlagen, die ebenfalls bei einigen erhobenen Gebäuden installiert wurden. Alle Angaben in den Tabellen sind auf die Wohnfläche bezogen und tragen die Einheit kWh/(m²a). Die kompletten Tabellen sind in der TABULA-Datenbank zu finden.

⁴¹ vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. III-38.

⁴² vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. III.

Tabelle 2: Auszug TABULA-Datenbank: System.DHW – Domestic hot water - heat generation⁴³

Code_Type _SysWG	Description_National_SysWG	year1_Sys WG	year2_Sys WG	e_g_w_He at
type of heat gene- rator	national description	first year of the installa- tion peri- od	last year of the installa- tion peri- od	typical ex- penditure coefficient of the heat generator
B_NC_LT	Niedertemperatur-Kessel / von 1987 bis 1994	1987	1994	1,26
B_NC_LT	Niedertemperatur-Kessel / ab 1995	1995		1,20
B_C	Brennwert-Kessel / bis 1986		1986	1,24
B_C	Brennwert-Kessel / von 1987 bis 1994	1987	1994	1,21
B_C	Brennwert-Kessel / ab 1995	1995		1,18
B_C	Brennwertkessel / ab 1995 / verbessert	1995		1,17
TS	Fernwärme-Übergabestation			1,14
Solar	Thermische Solaranlage			0,00

Die Aufwandzahlen werden von Niedertemperatursystemen über Brennwertkessel bis hin zur Fernwärme-Übergabestationen stetig geringer. Da thermische Solaranlagen mit einer Aufwandszahl von 0 verrechnet werden, ist die Energiemenge, die vom gesamten Wärmeerzeugungssystem geliefert werden muss, umso geringer, je höher der solare Deckungsanteil an der Wärmeerzeugung ist. Eine weitere Ergänzung vom ursprünglichen Verfahren stellen die Lüftungsanlagen dar. Sie sind in der Anlagentechnik vom Kurzverfahren 2005 noch nicht aufgeführt. Im Kurzverfahren und in TABULA fand eine dementsprechende Erweiterung statt. Als Grundlage für die Abluftanlage und die Wärmerückgewinnungsgrade (eta_ve_rec) diente die DIN V 4701-10. Dem Fehlen einer Lüftungsanlage mit der dementsprechenden Wärmerückgewinnung gleich 0 % steht der Maximalwert von bis 90 % einer Wärmerückgewinnungsanlage mit Erdreichwärmetauscher gegenüber.

Tabelle 3: Auszug TABULA-Datenbank: System.Vent⁴⁴

Code_Type_SysVent	Description_National_SysVent	eta_ve_rec
code of the ventila- tion system type	national description	fraction of ventilation heat losses recovered
-	keine Lüftungsanlage	0
Exh	Abluftanlage	0
Bal_Rec	Lüftungsanlage mit 60% Wärmerückgewinnung (Voraussetzung: luftdichte Gebäudehülle)	0,6

⁴³ Loga, 2015, S. Tab.System.WG.⁴⁴ Loga, 2015, S. Tab.System.Vent.

Bal_Rec	Lüftungsanlage mit 80% Wärmerückgewinnung (Voraussetzung: luftdichte Gebäudehülle)	0,8
Bal_GroundRec	Lüftungsanlage mit Erdreichwärmetauscher und 80% Wärmerückgewinnung (Voraussetzung: luftdichte Gebäudehülle)	0,9

2.4 TABULA

Das TABULA-Verfahren beschreibt das in dieser Arbeit verwendete Berechnungsverfahren für den Endenergiebedarf gemäß der Heizperiodenbilanz. Vor der Darstellung der Berechnungsschritte wird das Europa-Projekt selbst kurz vorgestellt.

2.4.1 TABULA-Projekt

Die Berechnungen des Energiebedarfs und der Rahmenbedingungen basieren auf dem EU-Projekt TABULA („Typology Approach for Building Stock Energy Assessment“), welches vom EU-Förderprogramm „IEE - Intelligent Energy Europe“ finanziert wurde. „Ziel war dabei die Schaffung eines Referenzverfahrens, das den Vergleich der energetischen Qualität von Bestandsgebäuden im unsanierten, aber auch im energetisch modernisierten Zustand erlaubt.“⁴⁵ Dafür wurden europaweit Gebäudedaten gesammelt, um diese im Rahmen von speziellen Gebäudeklassen und –Typologien vergleichbar zu machen. Es wurden u.a. Alter, Gebäudegröße und –Art, Gebäude –und Wärmeversorgungsarten nachgefragt, aufgelistet und zusätzlich Modernisierungsmaßnahmen für verschiedene Qualitätsniveaus definiert. Für das Projekt waren sowohl einheitliche Datenstrukturen, als auch eine einheitliche Berechnungsmethode notwendig, die im Zuge dieser Arbeit ebenfalls Anwendung finden. Mit dieser Methode werden der Energiebedarf des Gebäudes und der notwendige Energieaufwand der Heiz- und Warmwassersysteme berechnet. Desweiteren ist auch eine Ermittlung der Primär- und CO₂- Emissionen möglich. Da Wohngebäude im Fokus der Betrachtung stehen, werden Klimatisierung und Beleuchtung derzeit noch nicht detailliert berücksichtigt. Die Erweiterung um die Einbeziehung der Photovoltaik-Systeme wird allerdings derzeit erarbeitet.

Bei der Bestimmung der Parameter für den Energieverbrauch steht der möglichst großen Realitätsnähe der Fokus auf die „Einfachheit“ des Verfahrens gegenüber. Dies hat zur Folge, dass beim grundlegenden Verfahren in erster Linie Durchschnittswerte verwendet werden, die jedoch um detailliertere Angaben, insofern sie denn vorliegen, ergänzt werden können. Die Transparenz und die Vereinfachungen ermöglichen, dass die Methode in jedem am TABULA-Projekt beteiligten Land von entsprechenden Experten übernommen und nachvollzogen werden kann⁴⁶. Manifestiert haben sich diese Vorgaben, Rahmenbedingungen und Grundsätze sowohl als ein umfangreiches Excel-Arbeitsblatt⁴⁷ mit sämtlichen Berechnungsschritten und Randbedingungen, als auch als ‚TABULA Web-Tool‘, welches online Berechnungen für verschiedene Beispielgebäude ermöglicht. Als vereinfachtes Berechnungswerk-

⁴⁵ Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 15.

⁴⁶ vgl. Loga & Diefenbach, 2013, S. 5.

⁴⁷ vgl. Loga, 2015.

zeug steht ebenfalls im Excel Format die Arbeitsmappe "tabula-calculator.xls" zur Verfügung. Den Berechnungen liegen bis zu 60 verschiedene Referenztabellen mit Konstanten und variablen Eingabedaten zu Grunde. Das gesamte Verfahren stimmt mit den relevanten CEN-Standards überein und berücksichtigt die individuellen nationalen Rahmenbedingungen.⁴⁸

Methodik und Rahmenbedingungen der Bilanzierung

Europäische Normen bilden den Rahmen der Rechenschemata. Für den Heizwärmebedarf wird sich am Heizperiodenbilanzverfahren nach der EN ISO 13790 (Energieeffizienz von Gebäuden - Berechnung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung) und bei der Anlagentechnik an der EN 15316/ Level B (Heizungsanlagen in Gebäuden / tabellierte Werte für jede Heizsystem-Komponente) orientiert. Das Verfahren dient dabei nicht als detaillierter gesetzlicher Nachweis, sondern als Evaluierung. Es soll in diesem Sinne mittels durchschnittlichen Pauschalwerten der typische Energiebedarf von Gebäudebeständen mit verschiedenen Qualitätsniveaus abgebildet werden.⁴⁹

Die Standardrandbedingungen für den Ländervergleich sind in Tabelle 4 dargestellt, sämtliche Energiekennwerte (Anlagentechnik, Verluste, Warmwasserbedarf, etc.) sind auf die TABULA Bezugsfläche (Nettogrundfläche der beheizten Geschosse/ Wohnfläche) bezogen.

Tabelle 4: TABULA-Standardrandbedingungen⁵⁰

Randbedingungen	TABULA-Standard	Verwendung
Raumtemperatur	20 °C	20°C / detaillierte Angabe
Heizgrenztemperatur	12 °C	12 °C
Klimadaten	Heizperiodenlänge entsprechend Heizgrenze, mittlere Außentemperatur in der Heizperiode, Summenwerte der Globalstrahlung	
		bei mehreren Verbrauchsjahren: Klimadaten pro Verbrauchsjahr
Nachabsenkung/ nicht konforme Bereiche	0,85 – 0,95 für Mehrfamilienhäuser	für modernisierte Häuser: 1
Nutzungsbedingungen	hygienischer Luftwechsel: 0,4 1/h interne Wärmequellen: 3 W/m² Verschattungsfaktor: 0,6	
Warmwasserbedarf	15 kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)

Für die Innenraumtemperatur wurden bei der ‚Standard‘-Sanierung 20 °C angesetzt, für modernere Gebäude (KfW Effizienzhäuser oder Passivhäuser) dagegen höhere Innenraumtemperaturen von 21 °C bzw. 22 °C. Die Klimadaten, wie Heizzeitraum (Heiztage) und mittlere Außentemperatur, werden für jedes Gebäude separat ermittelt und sind vom Standort und Abrechnungsjahr abhängig. Da sich in modernisierter Bausubstanz die Wärme homogener verteilt und „Kaltzonen“ seltener werden, wird der Faktor für nicht konformes Heizen

⁴⁸ vgl. Loga & Diefenbach, 2013, S. 5.

⁴⁹ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 75.

⁵⁰ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 75.

gleich eins gesetzt.⁵¹ Die Standard-Nutzungsbedingungen umfassen einerseits einen hygienischen Luftwechsel von 0,4 1/h, interne Wärmequellen von 3 W/m², als auch einen Verschattungsfaktor, der solare Lichteinbußen durch städtische Bebauung berücksichtigt. Desweiteren wird der Warmwasserbedarf im Mehrfamilienhaus mit 15 kWh/(m²a) beziffert.

2.4.2 Berechnungsmethode

Das Heizperiodenbilanzverfahren, welches in TABULA verwendet und mit dem auch in dieser Arbeit die Bilanzierung vorgenommen wurde, gilt als vereinfachtes Verfahren, um den Wärmebedarf eines Gebäudes gemäß EN 13790 zu bestimmen. Mittels weniger Formeln kann in Verbindung mit tabellarisierten Werten die Energiebilanz jahresweise transparent und nachvollziehbar abgebildet werden. Dies steht im Gegensatz zum gesetzlichen EnEV-Nachweis, bei dem seit 2007 nur noch detailliertere und aufwendigere Verfahren (Monatsbilanzverfahren, DIN V 18599) zugelassen sind.⁵² Im Heizperiodenbilanzverfahren wird zuerst der Wärmebedarf des Gebäudes bestimmt und im Anschluss der Energiebedarf bzw. der Energieaufwand, der vom Erzeugersystem bereitgestellt werden muss, um den Wärmebedarf und die Heizungs- und Warmwasserverluste auszugleichen. Die detaillierte Berechnung mit den zugehörigen Formeln ist im ‚Anhang A-4: Berechnungsverfahren TABULA‘ dargestellt, nachfolgend wird lediglich auf das Schema der Berechnung eingegangen:⁵³

Berechnung des Wärmebedarfs des Gebäudes⁵⁴

Der Energiebedarf $Q_{H,nd}$ [kWh/a] setzt sich aus den Wärmeverlusten Q_{ht} aus Transmission und Lüftung zusammen, der um die wiedergewinnbaren Anteile (Wiedergewinnungsfaktor $\eta_{h,gn}$) der internen und solaren Gewinne $Q_{H,gn}$ reduziert wird:

$$Q_{H,nd} = Q_{ht} - \eta_{h,gn} * Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/a}]$$

- Der Wärmeverlust wird aus den Verlustkoeffizienten von Transmission [W/K] und Lüftung [W/K] gebildet und ist sowohl von der Länge der Heizzeit als auch der Differenz von Außen- und Innentemperatur abhängig. Ebenfalls wird ein Korrekturfaktor für nicht konformes Heizen verrechnet, der in der vorliegenden Arbeit auf Grund der Sanierungsstände der Gebäude mit 1 angenommen wird.
- Für den **Transmissionskoeffizient** werden die bauteilspezifischen U-Werte mit der Fläche des Bauteils und einem von dem angrenzenden Bereich abhängenden Korrekturwert multipliziert. Über alle Bauteilflächen erfolgt dann je nach Größe der Wärmebrücken ein Aufschlag.
- Die Bauteilflächen können der Flächenschätzung des KVEP entnommen oder detailliert für die Bauteile Dach/ oberste Geschossdecke, Außenwand (gegen Außenluft oder Erdreich), Kellerdecke/ Bodenplatte oder Fenster angegeben werden.

⁵¹ vgl. Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014, S. 14.

⁵² vgl. Loga, 2004, S. 28.

⁵³ vgl. Verfahren entspricht dem Aufbau der prEN ISO 13790, 2007.

⁵⁴ vgl. Loga & Diefenbach, 2013, S. 7 ff.

- Liegen die U-Werte $[W/(m^2K)]$ der Bauteile nicht detailliert vor, werden diese ausgehend von der Baualtersklasse des ursprünglichen Bauteils und der Dicke und Wärmeleitfähigkeit der aufgetragenen Dämmung zu einem effektiven U-Wert errechnet.
- Der **Verlustkoeffizient der Lüftung** ist v.a. von der Luftwechselrate während der Heizzeit und dem Infiltrationsluftwechsel abhängig. Während die Luftwechselrate von der Gebäudenutzung und einem ‚Standard-Lüftungsverhalten‘ ausgeht, hängt der Luftwechsel durch Infiltration nur von der Gebäudedichtheit ab, welche bspw. aus dem Ergebnis eines Blower-Door-Tests abgeleitet werden kann. Je versiegelter und luftdichter ein Gebäude ist, desto geringer ist der dadurch verursachte Luftwechsel.
- Für die Bestimmung der internen Gewinne wird von einem flächenbezogenen spezifischen Wärmeausstoß im Gebäude durch Personen und Geräte ausgegangen.
- Die solaren Gewinne sind vom Fenstertyp und der Höhe der solaren Einstrahlung abhängig. Dabei werden anhand von festen Reduktionsfaktoren Wärmeeinbußen durch Rahmen, Verschattung und nicht senkrecht einfallender Strahlung berücksichtigt.
- Die Höhe der wiedergewinnbaren Anteile $\eta_{h,gn}$ ist an das Verhältnis von Wärmegewinnen $Q_{H,gn}$ und –Verlusten Q_{ht} und einem verfahrensspezifischen Parameter a gebunden. In diesem Parameter wird eine Zeitkonstante berücksichtigt, die sich wiederum aus der thermischen Speichereigenschaft der Energiebezugsfläche und der beiden Verlustkoeffizienten (Lüftung und Infiltration) bilden lässt.

Berechnung des Energiebedarfs⁵⁵

Für die notwendigen Wärmeleistungen der Erzeugersysteme wird zwischen Warmwasser (Domestic Hot Water – DHW/ W) und Heizsystem (Heating System – H) unterschieden. Die Berechnungen erfolgen, ebenfalls wie die Angaben in den zugehörigen Tabellen, flächenspezifisch und sind in der Einheit $kWh/(m^2a)$ angegeben. Bei beiden Systemen (DHW und H) wird für jeden Erzeuger im Gebäude dessen Anteil an der Wärmeerzeugung (nur ein Erzeuger = 100%) mit seiner Aufwandszahl und seiner Wärmeproduktion bzw. dessen Wärmeoutput multipliziert. Diese Wärmeproduktion berücksichtigt beim Warmwasser den Energiebedarf für die Wärmeerzeugung (Standardwert: $15 kWh/(m^2a)$), sowie Verteilungs- und Speicherverluste. Je nach Aufstellungsort und Erzeugungssystem können verschieden hohe Anteile wiedergewonnen werden. Diese wiedergewinnbaren Anteile (Faktor: $\eta_{h,gn}$) müssen nicht vom Heizsystem gedeckt werden und können demnach abgezogen werden. Dies ist auch für die reduzierten Lüftungswärmeverluste beim Vorhandensein einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung der Fall. Die Wärmeerzeugung der Heizungsanlage muss den restlichen Wärmebedarf sowie die Speicher- und Verteilungsverluste der Heizanlage ausgleichen und die dafür notwendige Wärme liefern.

Durch die endenergetische Betrachtung werden die Hilfsenergien für Heiz-, Warmwasser- und Lüftungssystem, bei denen meist Strom als Erzeuger gilt, nicht weiter berücksichtigt.

⁵⁵ vgl. Loga & Diefenbach, 2013, S. 17 ff.

2.5 Verbrauchsstatistiken

Umfangreiche Datensammlungen zu Verbrauchswerten sind bisher nur in überschaubarer Anzahl vorhanden. Im Rahmen von Modellprojekten werden häufig die Bedarfswerte publiziert, die Verbrauchswerte der nachfolgenden Jahre werden hingegen nur selten thematisiert, geschweige denn zentral gesammelt. Zudem bilden diese, wenn sie denn überhaupt vorliegen, nur einen kleinen Umfang an Projekten ab. Um Verbrauchswerte nun in hoher und empirisch belastbarer Anzahl zu erheben, erscheint es sinnvoll, sich direkt an die Abrechnungsunternehmen selbst zu wenden. Hier liegt nun wiederum das Problem vor, dass ein alleiniger Verbrauchswert wenig Aussage über das Gebäude liefert. Erst die Kopplung mit Gebäudedaten ermöglicht eine Abschätzung über Energieeffizienz, Gebäudequalität und des Verbraucherverhalten. Die Einführung der Energiebedarfs- und Verbrauchsausweise scheint diese Lücke etwas schließen zu können, insofern diese Informationen gebündelt werden. Einige Abrechnungsunternehmen haben sich bereits dieser Aufgabe gewidmet, wobei die Ergebnisse, wie bspw. der Brunata-Metrona-Gruppe, bereits zur Evaluierung der EnEV 2009 und der bis dato verwendeten Energieausweise herangezogen wurden.⁵⁶ Nachfolgend werden nun die Abrechnungsunternehmen aufgeführt, die bereits Daten im dargestellten Sinne aufbereitet haben. Dabei werden sowohl die Einteilung, als auch die jeweiligen zentralen Fragestellungen beschrieben. Insbesondere bei Brunata-Metrona und der ista-IWH wurden bereits umfangreiche Analysen durchgeführt, deren Schlussfolgerungen hier dargestellt werden. Bei der Techem-Studie und den weiteren Erhebungsstatistiken stand die reine Darstellung der Kennwerte mehr im Vordergrund. Die jeweiligen Ergebnisse werden dann in Kapitel 6.3 zur Darstellung merkmalspezifischer Richtwerte herangezogen und sind in einheitlich aufbereiteter Struktur in ‚Anhang F: Vergleichswerte Verbrauchstatistiken‘ dargestellt. Da die Daten nach keinem einheitlichen Schema erhoben werden, müssen einige ausschlaggebende Faktoren bekannt sein, um die Vergleichbarkeit der Werte zu gewährleisten:⁵⁷

- Energiebezugsfläche
Wohnfläche oder Gebäudenutzfläche (nach EnEV)
→ Umrechnung⁵⁸: Nutzfläche = 1,2 * Wohnfläche
- Brenn- oder Heizwertbezug⁵⁹
Heizkosten- und Verbrauchsabrechnungen werden in der Regel auf den Brennwert (H_o) bezogen, die Verbrauchsausweise beziehen sich jedoch auf den Heizwert (H_u), weswegen ggf. eine Umrechnung mit dem Faktor 1,1 vom Heizwert auf den Brennwert berücksichtigt werden muss.⁶⁰
- Energieverbrauchswert für Heizung oder Heizung und Warmwasser

⁵⁶ vgl. Fisch, et al., 2012, S. 3.

⁵⁷ vgl. VDI 3807 Blatt 2, 2014, S. 58.

⁵⁸ vgl. EnEV, 2013, §19.

⁵⁹ Definition: „Diejenige Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes frei wird, nennt man Brennwert [...]. Bei den Brennstoffen [...] unterscheidet man den Brennwert H_o (früher oberer Heizwert genannt) und den Heizwert H_u (früher unterer Heizwert genannt), je nachdem, ob man die Verdampfungswärme des Wassers in den Verbrennungsgasen berücksichtigt oder nicht.“ (Albers, 2015a, S. 307).

⁶⁰ vgl. Fisch, et al., 2012, S. 16.

Die Berücksichtigung der Warmwasseranteile kann messtechnisch oder rechnerisch (prozentual/absolut) erfolgen.

- Sanierungsstand der Gebäude

Verbrauchskennwerte liegen in erster Linie für unsanierte Gebäudebestände vor. Um geeignete Referenzwerte ableiten zu können, müssen Informationen über Art und Umfang von Teil- oder Vollsanierungen vorhanden sein.

2.5.1 Brunata-Metrona

Mit den ‚Universelle Energiekennzahlen für Deutschland‘ veröffentlichte der Abrechnungsdienstleister Brunata-Metrona in den Jahren 2009 und 2010 Auswertungsergebnisse, die auf einem Datenpool von bis dato 250.000 Verbrauchskennzahlen basierten. Die Kennzahlen sind abrechnungsbezogen (Brennwert) und um die Warmwassereinflüsse bereinigt.⁶¹ Während sich der erste Bericht auf die Kennzahlverteilung nach Energieträgern und Sanierungsstand bezog, thematisierte der zweite Teil die Entwicklung der Verbrauchskennzahlen nach Baualtersklassen. Diese wurden in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst anhand ortsgenauer Klimafaktoren normiert, um die Witterungseinflüsse möglichst exakt abbilden zu können und dann im ersten Berichtsteil in sogenannte 18 ‚Cluster‘ bzw. Kennzahlvergleichsgruppen eingeteilt. Die Clusterbelegung unterscheidet sich nach Energieträger (Gas, Öl, Fernwärme) und nach dem Sanierungsstandard, der aus dem Energieausweis hervorging. Dabei wurde zwischen ‚Neubau‘ (Baujahr ab 1995), ‚saniert‘ (Außenwände, Keller, Dach), ‚teilsaniert‘ (Außenwände), ‚unsaniert‘ (unter Baustandard 1995) und ‚vollkommen unsaniert‘ (weder saniert noch Isolierverglasung) unterschieden. Sanierte und neugebaute Liegenschaften, wie sie für diese Arbeit vor allem interessant sind, sind mit ca. einem Sechstel an der Gesamtheit vertreten.⁶²

Im zweiten Teil des Berichts, der 2010 in der Zeitschrift Bauphysik erschien, liegt der Fokus auf den Baualtersklassen und den jeweiligen Einflüssen der entsprechend geltenden Wärmeschutzverordnung. Sanierte und/ oder fernwärmeversorgte Gebäude wurden explizit ausgeklammert. Für die unsanierten Altbauten ergeben sich nach dieser Darstellung Werte zwischen 105 und 224 kWh/(m²a), der Median lag bei 155 kWh/(m²a). Mit Einführung der Wärmeschutzverordnung 1977 ist dieser bereits auf 136 kWh/(m²a) gesunken und verbucht dann mit der Wärmeschutzverordnung 1995 den stärksten Rückgang von 127 kWh/(m²a) im Jahr 1994 auf 115 kWh/(m²a) ab Baujahr 1995, wobei auch die EnEV 2002 eine deutliche Verminderung brachte (von 96 kWh/(m²a) auf 88 kWh/(m²a)).⁶³ Für die Neubauten nach 2004 ging der mediale Energiekennwert dann auf 85 kWh/(m²a) zurück. Mit den medialen Werten hat sich auch die Standardabweichung halbiert.

Neben diesen ‚Universellen Energiekennzahlen‘ wurden die Datenerhebungsmöglichkeiten von Brunata-Metrona genutzt, um in weiteren Veröffentlichungen die Temperaturverteilungen und den Energieverbrauch bei steigendem Modernisierungsgrad zu untersuchen. Darin enthalten ist auch eine Überprüfung der Warmwasseranteile über die Gebäudegröße sowie

⁶¹ vgl. Schröder, Grell, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 394.

⁶² vgl. Schröder, Grell, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 394 ff.

⁶³ vgl. Grell, Schröder, Hundt, Mundry, & Papert, 2010, S. 1,3.

die Heizflächentemperaturen über die Baualtersklasse.⁶⁴ Das Ergebnis einer entsprechenden Aufbereitung der Daten und Kombination der Heiz- und Warmwasserverbräuche zeigt Tabelle 5. Die Fernwärme ordnet sich dabei mit bis zu 50 kWh/(m²a) niedrigeren Verbrauchskennwerten unterhalb der Gas- und Ölversorgung ein, welches den oftmals besseren Sanierungszuständen dieser Gebäude geschuldet ist.

Tabelle 5: Verbrauchskennwerte Brunata Metrona⁶⁵

Energieträger	Gebäudegröße [m²]	Kennzahl [kWh/(m²a)]
Gas/Öl	200	156,75
	400	142,50
	1000	132,75
Fernwärme	500	105,50
	1000	100,00
	2000	101,50
alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser		

Die Originaldaten der Brunata-Metrona wurden zusammen mit Daten der delta GmbH ebenfalls für eine Auswertung im Rahmen einer Publikation des BMVBS aufbereitet. Die Untergliederung erfolgte nach Gebäudegröße, Qualität der Gebäudehülle (komplett unsaniert, vorwiegend unsaniert, komplett saniert/ab Baujahr 1995, ab Baujahr 2002) und Energieträger (Gas/Heizöl, Fernwärme, (Strom)). Als Ergebnis der ‚interessanten‘ komplett sanierten Gebäude mit Gas/Öl bzw. Fernwärmeversorgung, die aus den Verbrauchsausweisen (Heizwert) und auf die Nutzfläche bezogen ermittelt wurden, zeigt Tabelle 6. Als ‚komplett saniert‘ gelten in dieser Studie Gebäude mit Baujahren vor 1995 und implizieren eine Dämmung der Außenwände, des Daches und eine aufgebrachte Isolierverglasung. Für eine spätere Vergleichbarkeit muss die Umrechnung auf Wohnfläche und Brennwert berücksichtigt werden.

Tabelle 6: Verbrauchskennwerte BMVBS-Publikation (11/2012)⁶⁶

Energieträger	Gebäudegröße	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gas/Öl	200-500	114	108	36
	500-2.000	102	98	30
	> 2.000	99	95	32
Fernwärme	200-500	100	92	37
	500-2.000	85	80	24
	> 2.000	83	81	21
alle Angaben bezogen auf Nutzfläche, Heizwert, Heizung inkl. Warmwasser				

⁶⁴ vgl. Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014 und Schröder, Engler, Boegelein, & Ohlwärter, 2010.

⁶⁵ eigene Darstellung, Grunddaten entnommen aus Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 398 f.

⁶⁶ vgl. Fisch, et al., 2012, S. 24 f.

2.5.2 ista-IWH

Der Energiedienstleister ista Deutschland GmbH ist für die Verbrauchserfassung und – Abrechnung von fast 3 Millionen Wohnungen in Deutschland zuständig. In Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung Halle (IWH) wurde der sogenannte ‚ista-IWH-Energieeffizienzindex‘ erarbeitet, der auf der ista-Verbrauchsdatenbank beruht und aus der gemäß der VDI 3807 Heizenergiekennwerte für ganz Deutschland gebildet werden können.⁶⁷ Für die Indexbildung werden die Rohenergiemengen mit dem Heizwert multipliziert und mit dem jahresspezifischen Klimafaktor und der Wohnfläche verrechnet. Durch Bildung eines gewichteten Mittelwertes und der Normierung auf einen durchschnittlichen deutschlandweiten Indexwert von 100 konnten direkte regionale Vergleichswerte gebildet werden.⁶⁸ Die Ergebnisse der Auswertung der rund 300.000 Mehrfamilienhäuser in dieser Datenbank wurden regelmäßig in den Jahren 2009-2012 in ‚Wirtschaft im Wandel‘ veröffentlicht.

In einer dieser Veröffentlichungen wurden die Energieeffizienz und die Sanierungspotentiale von Bestandsgebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen anhand von Daten aus Energieausweisen (→ Heizwert) untersucht. Die „natürliche Energieeffizienz“⁶⁹ wurde anhand der jeweiligen bauphysikalischen Eigenschaften des Bestandes abgeschätzt und der Aufwand für eine Sanierung/die Sanierungspotentiale abgewogen. Weiterhin wurde zwischen vollsanierten und unsanierten Gebäuden und Gebäudegröße unterschieden. Eine vollständige Sanierung definierte sich durch eine Aufwertung der gesamten Gebäudehülle inkl. Dach, Fassade und Fenster, Kellerdecke und Heizungsanlage innerhalb der letzten 15 Jahre.⁷⁰ Die Mehrfamilienhäuser wurden in diesen Gruppen in kleine (bis 6 Wohneinheiten (WE)), mittlere (7-12 Wohneinheiten), ‚normale‘ (13-21 Wohneinheiten) und große (>21 Wohneinheiten) Mehrfamilienhäuser eingeteilt. Tabelle 7 zeigt die Ergebnisse dieser Unterscheidung nach Sanierungsstand, Gebäudegröße und Baualtersklasse. Die Werte sind auf die Gebäudenutzfläche bezogen.

Tabelle 7: Verbrauchskennwerte ista-IWH⁷¹

Gebäudeart	Sanierung	Baualtersklassen							
		1990- 1918	1919- 1948	1949- 1957	1958- 1968	1969- 1978	1979- 1983	1984- 1994	ab 1995
kleines MFH	unsaniert	159	162	160	161	151	143	136	
	vollsaniert	137	136	134	128	131	137	125	108
mittleres MFH	unsaniert	141	152	148	150	146	137	133	
	vollsaniert	126	118	116	110	121,5	117	112	103
MFH	unsaniert	140,5	141,5	134	150	151	136	131	
	vollsaniert	120	109	106	100	105	102,5	91	101

⁶⁷ vgl. Michelsen, 2009, S. 380.

⁶⁸ vgl. Michelsen, 2009, S. 381, 386.

⁶⁹ vgl. Michelsen & Müller-Michelsen, 2010, S. 452.

⁷⁰ vgl. Michelsen & Müller-Michelsen, 2010, S. 453.

⁷¹ vgl. Michelsen & Müller-Michelsen, 2010, S. 454.

großes MFH	unsaniert	135	141	126	144	134	123	98	
	vollsanziert	122	104	91	85	89	90	82	98
alle Angaben bezogen auf Nutzfläche, Heizwert, Heizung inkl. Warmwasser									

Als Resümee ergaben sich die höchsten Einsparpotentiale für Gebäude mit einem Baujahr zwischen 1958 und 1978 („schlechte“ Ausgangssubstanz + geringer Sanierungsaufwand) und großen Mehrfamilienhäusern der 1960er Jahre.⁷² Diese Einteilung der Gebäudegrößen wird in die spätere Analyse übernommen und die Kennwerte der vollsanierten Gebäude (umgerechnet auf Wohnfläche und Brennwert) als Vergleichswerte herangezogen.

2.5.3 Techem

Die Erfassung und verbrauchsabhängige Heiz- und Warmwasserkostenabrechnungen sowie Leistungen im Energiemanagementbereich gehören zum Aufgabenspektrum des Unternehmens ‚Techem‘. Diese implizieren u.a. auch die Analyse des Energieverbrauchs, Monitoring und Anlagenoptimierung bis hin zu Contracting-Lösungen.⁷³ Mit den jährlich erscheinenden Techem-Studien ‚Hilfen für den Wohnungswirt‘ werden die aktuellen Energiekennwerte des Techem-Gebäudebestandes veröffentlicht. In der aktuellen Auflage umfasste diese die Energieverbräuche von 135.000 Mehrfamilienhäusern für Raumheizung und Warmwasser, die sowohl nach Region, Wohnfläche, Erzeuger und Sanierungsgrad aufgeschlüsselt dargestellt wurden. Da die Verbrauchskennwerte auf den Heizkostenabrechnungen beruhen, sind sie wohnflächenspezifisch angegeben.⁷⁴

Die Heizenergieverbräuche wurden in der Studie nach der Anzahl der Nutzeinheiten (2, 3-4, 5-7, 8-16 und > 16), Energieform (Fernwärme oder Öl/Gas) und energetischen Standards gemäß: Altbau, WSVÖ 77 (vor 1978, unmodernisiert gemäß WSVÖ 95), WSVÖ 95 (1995–2001), EnEV 02 (2002–2008) und EnEV 09 (≥ 2009) unterteilt. Ein Ausschnitt, wie der Energieverbrauch tabellarisch in der Studie dargestellt wurde, zeigt Tabelle 8. Aufgelistet sind für verschiedene energetische Standards (Gebäudeklassen) die Heizenergieverbräuche nach der Anzahl an Nutzeinheiten und versorgender Energieform.

Tabelle 8: Verbrauchskennwerte Techem: Auszug der Gebäudeklassen⁷⁵

Anzahl Nutzeinheiten	Energieform	Heizenergieverbrauch	Energetischer Standard
3 - 4	Fernwärme	> 127	Altbau
3 - 4	Fernwärme	105 – 127	WSVÖ 77
3 - 4	Fernwärme	86 – 105	WSVÖ 95
3 - 4	Fernwärme	65 – 86	EnEV 02
3 - 4	Fernwärme	< 65	EnEV 09
3 - 4	Öl/Gas	> 141	Altbau
3 - 4	Öl/Gas	121 – 141	WSVÖ 77
3 - 4	Öl/Gas	97 – 121	WSVÖ 95
3 - 4	Öl/Gas	66 -97	EnEV 02

⁷² vgl. Michelsen & Müller-Michelsen, 2010, S. 454.

⁷³ vgl. Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 158 f.

⁷⁴ vgl. Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 20 f.

⁷⁵ Gesamte Tabelle in Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 46.

3 - 4	Öl/Gas	< 66	EnEV 09
alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, nur Heizung			

Um die Daten der vorliegenden Studie mit den Ergebnissen dieser Arbeit vergleichbar zu machen, wurden die Mittelwerte der Heizenergieverbräuche, die als einzige numerisch nach Gebäudeklassen vorlagen, und die Energieverbräuche für die Trinkwassererwärmung addiert. Die Höhe der Trinkwarmwasserbeträge wurde aus einem zugehörigen Diagramm abgelesen, welches ebenfalls nach Gebäudegröße und Verordnungsstand unterteilt war.⁷⁶ In der zugehörigen Techem-Grafik wird in Erdgas und Heizöl unterschieden, weswegen diese Werte ausgehend vom Vorkommen am Gesamtbestand noch prozentual miteinander verrechnet wurden. Da der pauschale und durchschnittliche Warmwasserverbrauch zu großen Teilen auch unsanierte Bestandsgebäude berücksichtigt, erschien diese spezifischere Betrachtung plausibel. Das Ergebnis der aufbereiteten Techem-Daten zeigt Tabelle 9.

Tabelle 9: Verbrauchskennwerte Techem (aufbereitet)⁷⁷

Energieträger	Anzahl WE	WSVO 95 (1995-2001)	EnEV (2002-2008)	EnEV 2009 (ab 2009)
Fernwärme				
	3 - 4	120,5	102,5	96
	5 - 7	111,5	96,5	91
	8 - 16	106	95	91,5
	>16	100	89	84
Öl/Gas				
	3 - 4	137,31	111,31	97,93
	5 - 7	133,08	108,78	97,85
	8 - 16	132,69	110,76	101,70
	>16	133,66	111,93	103,04
alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser				

Alle auf den Brennwert und die Wohnfläche aufbereiteten Tabellen, inkl. der Warmwasseranteile sind zusammen mit Tabelle 9 in „Anhang F: Vergleichswerte Verbrauchsstatistiken“ zu finden.

2.5.4 weitere Statistiken

In deutlich kleineren Ausmaßen wurden Verbrauchsdaten auch in weiteren Studien erhoben und ausgewertet. Im Rahmen eines IWU-Mietspiegel-Projekts wurden für verschiedene Gebäudegrößen und Wärmeerzeuger u.a. die Verbrauchs- und Bedarfskennwerte für die Heizung verglichen und damit die Eignung des KVEPs zur Abschätzung der wärmetechnischen Beschaffenheit überprüft.⁷⁸ Die Ergebnisse gingen auch in die aktuelle Auflage der deutsch-

⁷⁶ Diagramm befindet sich in Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 41.

⁷⁷ eigene Darstellung, Ausgangswerte entnommen aus Techem Energy Services GmbH, 2013: Heizkennwerte S.46, Wasserkennwerte S.41, Anteilige Berücksichtigung der Erzeuger S.22.

⁷⁸ vgl. Knissel, et al., 2006, S. 5-19.

landweit bekannten Gebäudetypologie ein⁷⁹ und sind Grundlage für den Anpassungsfaktor in Kapitel 7.2.2.2.

Eine weitere umfangreiche Verbrauchsdatenauswertung mit 5.000 Gebäuden veröffentlichte die Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. im Jahr 2009 in Zusammenarbeit mit Haus&Grund Schleswig Holstein. Die mittels Fragebogen für Verbrauchsausweise erhobenen Daten wurden auf die Gebäudenutzfläche bezogen und klimabereinigt angegeben.⁸⁰ Zudem wurde ein Warmwasseranteil von 18% heraus gerechnet, der im Zuge der späteren Vergleichbarkeit folglich wieder hinzugefügt werden muss. Die Klassifizierungen fanden nach Gebäudetyp (Reihenmittelhaus, Doppelhaus/Reihenendhaus, Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus), ‚Baujahrklasse‘ und Modernisierungszustand statt. Bei dieser Unterscheidung waren für diese Arbeit nur die Gebäude mit dem Zustandsmerkmal ‚größtenteils modernisiert‘ (Instandsetzung, energetische Modernisierung der überwiegenden Bauteile inkl. Anlagentechnik) und ‚umfassend modernisiert‘ von Interesse. Letztere der beiden Kategorien wurde allerdings weder von Einfamilienhäusern noch von Mehrfamilienhäusern belegt. Mit der Addition des Warmwasseranteils und der Umrechnung auf die Wohnfläche ergeben sich in dieser ARGE-Publikation Energieverbrauchskennwerte von 215 kWh/(m²a) bis 157 kWh/(m²a) für größtenteils modernisierte Gebäude. Diese liegen damit deutlich höher als bei den bisherigen Statistiken. Auch in dieser Studie fallen die Werte, die nicht kontinuierlich mit der Baualtersklasse abnehmen, und die deutliche Reduktion der Verbrauchskennwerte um 1977 (Einführung WSV 1977) ins Auge.

Weitere Auswertungen von Energieverbrauchswerten aus der iwB-Datenbank (iwB: Immobilienwirtschaftliche Beratung) fand bspw. in Zusammenarbeit von acht Hamburger Genossenschaften und der Gesellschaft für Bau- und Stadtentwicklung statt. Der Artikel „Energieeinsparpotenziale bei Bestandsgebäuden“ wurde 2010 veröffentlicht und quitierte modernisierten Bestandsgebäuden im Schnitt erreichbare Heizenergieverbräuche von 60 bis 90 kWh/(m²a).⁸¹ Weitere Projektberichte wie vom Rheinisch-Westfälischen Institut für Wirtschaftsforschung (RWI) schlüsseln zwar den Energieverbrauch nach Gebäudemerkmalen auf, können aber für den kleinen Umfang an ‚umfassend sanierten‘ Gebäuden keine expliziten Auswertungen vornehmen.⁸² Die Deutsche Energie-Agentur (dena) weist nach Auswertungen ihrer Energiepassdatenbank für nur 8 % des Wohngebäudebestandes Verbrauchskennwerte kleiner als 58 kWh/(m²a) bzw 70 kWh/(m²_{AN}a) aus, welcher einem EnEV 2009-Neubau entsprechen würde.⁸³ Eine Übersicht über die Verbrauchscharakteristika auch in internationalen Haushalten zeigt des Weiteren die europaweite Aktualität des Themas.⁸⁴ In einer umfangreichen dänischen Studie wird insbesondere die sozioökonomische Zusammensetzung der Einflüsse auf den Energieverbrauch in den dortigen Haushalten illustriert.⁸⁵

⁷⁹ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 76-79.

⁸⁰ vgl. Selk & Gniechewitz, 2009, S. 9.

⁸¹ vgl. Raschper, 2010a, S. 82.

⁸² vgl. Frondel & Nolan, 2012, S. 13.

⁸³ vgl. Bigalke, et al., 2012, S. 42.

⁸⁴ vgl. Sunikka-Blank & Galvin, 2012.

⁸⁵ vgl. Hansen, 2015.

3 Datenerhebung

Durch die Erkenntnisse aus dem Berechnungsverfahren und den Verbrauchsstatistiken konnten bereits einige nachfragerrelevante Größen ermittelt werden, die den Energieverbrauch von Mehrfamilienhäusern beeinflussen. Nach weiteren Literaturrecherchen konnten zusätzliche Erhebungsgrößen identifiziert und dem Fragebogen gemäß aufbereitet werden. Da die weiteren Analysen auf den von den Ansprechpartnern zur Verfügung gestellten Daten fußen und der Fragebogen auch für zukünftige qualitativ hochwertige Erhebungen ein geeignetes Werkzeug darstellen soll, galt der Erstellung ein besonderes Augenmerk.

3.1 Ansprechpartner

Um eine geeignete Abschätzung von effizienzsteigernden Maßnahmen treffen zu können, müssen sowohl gebäudebezogene Daten als auch die dazugehörigen Verbrauchswerte vorliegen. Als Schnittstelle für diese Erhebungsgrößen stellen Wohnungsunternehmen einen geeigneten Adressaten dar, da diesen Objektdaten von größerem Umfang vorliegen. Auf Grundlage der Energieeinsparverordnung (EnEV), die seit 2008 einen Energieausweis auch bei modernisierten Bestandsgebäuden vorschreibt, konnte mit einem gewissen Vorhandensein an energetischen Kenndaten gerechnet werden.⁸⁶ Durch die Forschungsarbeit am IWU kam es in der Vergangenheit bereits zahlreich zur Zusammenarbeit mit Wohnungsunternehmen, weswegen von einer potentiellen Basis an Kooperationsbereitschaft auszugehen war. Als erster und sehr wertvoller Kooperationspartner erwies sich ein Wohnungsunternehmen in Frankfurt. Dieses war bereits in früheren Projekten erfolgreich mit dem IWU tätig, wodurch sich auch ein weiterführender Kontakt bzgl. energetischer und gebäudebezogener Fragen ergab. Darüber hinaus wurde stichprobenartig durch eine Internetrecherche weitere Wohnungsunternehmen und –Gesellschaften gesucht und kontaktiert, die dem Thema Nachhaltigkeit und energetischer Sanierung aufgeschlossenen gegenüberstanden.

3.2 Fragebogenerstellung

Der Fragebogen gliedert sich in vier Bereiche, die jeweils in separaten Excel-Arbeitsblättern angeordnet sind. Dieses Format wurde gewählt, um es Wohnungsunternehmen zu ermöglichen, in kurzer Zeit größere Datenbestände in den Fragebogen zu übertragen. Die Antwortmöglichkeiten können dabei via Drop-Downs in den Zellen ausgewählt oder per Hand eingetragen werden. Der gesamte Fragebogen ist im ‚Anhang B: Fragebogen‘ zu finden.

3.2.1 Allgemeiner Teil

Den auszufüllenden Arbeitsblättern geht ein ‚Deckblatt‘ voraus, welches lediglich eine kurze Danksagung enthält und einen inhaltlichen Überblick über die nachfolgenden Arbeitsblätter, sowie der darin verwendeten Zelltypen gibt. Nachfolgende Aufzählung zeigt die Struktur der Excel-Blätter:

⁸⁶ vgl. EnEV, 2013, §9.

- Gebäude& Anlage

Dieses Arbeitsblatt ist stark an das Kurzverfahren-Energieprofil angelehnt und fragt die für die Bedarfsrechnung wesentlichen Rahmenparameter ab. Anhand der 'Allgemeinen Daten' werden alle Informationen erhoben, die für die Flächenschätzung relevant sind. Angaben zur ‚Konstruktionsart und nachträglichen Dämmung‘ ermöglichen eine Bestimmung der U-Werte. Mit den Angaben zur Anlagentechnik und Warmwasserbereitung schließt die Bedarfsrechnung ab. Weiterführende Angaben zur Solarthermie, Photovoltaik, Wärmebrücken und Dichtheit des Gebäudes wurden zusätzlich auf dieser Seite nachgefragt.

- Verbrauch

Hier werden die Verbrauchswerte von (im Idealfall) drei aufeinanderfolgenden Verbrauchsjahren erhoben. Dabei kann sich eine Angabe des jeweiligen Energieträgers auf die Heizung und/oder die Warmwasserbereitstellung beziehen. Zusätzlich wird nach durchgeführten energetischen Verbesserungen und Leerständen in den angegebenen Verbrauchsjahren gefragt.

- Details

Liegen detailliertere Flächen und U-Werte für die einzelnen Bauteile vor, können diese im Arbeitsblatt ‚Details‘ eingetragen werden. Damit wird in der Energiebilanz die Flächenschätzung durch eine spezifischere und genauere Flächeneintragung ersetzt. Die Flächenschätzung selbst bleibt zur Überprüfung der Plausibilität der Flächeneinträge erhalten. Bei den Fenstern können zusätzlich die Flächen in den einzelnen Himmelsrichtungen angegeben werden. Die Möglichkeit zur detaillierteren Eintragung ist ebenfalls aus dem KVEP übernommen.

3.2.2 Zusatzdaten

Den Zusatzdaten ging eine umfangreiche Literaturrecherche voraus, die zahlreiche vermutete und auch bisher nicht thematisierte Abhängigkeiten aufzeigte. Die Herausforderung lag darin, nicht nur im Vorfeld relevante Einflussparameter zu identifizieren, sondern die Informationen mussten auch im Kenntnisbereich der Wohnungsunternehmen liegen. Einige Fragen beziehen sich deswegen auf ein simples Vorhandensein einer Gegebenheit (bspw. Wintergärten – Ja/Nein), andere geben mittels Drop-Down konkrete Antwortmöglichkeiten vor.⁸⁷ Die Angaben wurden zur leichteren Übersicht nach folgenden Kategorien gestaffelt: Allgemein zum Projekt, Allgemeine Angaben zum Gebäude, Wohnfläche, Anlagentechnik und Verbrauchsmessung.

Unter den ‚Allgemeinen Angaben zum Projekt‘ wurden der angestrebte Gebäudestandard, ausgehend von der Vermutung, dass ein ambitionierter Gebäudestandard das Risiko eines Mehrverbrauchs erhöht, und die Kosten der Sanierung nachgefragt.⁸⁸ Zusätzlich sollte mit der Frage, ob es bereits Beschwerden über die Anlagentechnik oder Schimmelprobleme

⁸⁷ Bei den Antwortmöglichkeiten wurde sich u.a. am Fragebogen ‚Energieeffizient Sanieren‘ in Diefenbach, Loga, Gabriel, & Fette, 2011, S. 101-109 orientiert.

⁸⁸ vgl. Stolte, Marcinek, Discher, Hinz, & Enseling, 2012, S. 25.

gab, geklärt werden, ob sich die Bewohner mit der neuen, modernen Anlagentechnik zu rechtfinden.⁸⁹ Maßgeblichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben auch andere Nutzungen im Gebäude, welche im Unterpunkt zu ‚Allgemeine Angaben zum Gebäude‘ hinterfragt werden. Die Wohnungsgröße stellt ebenfalls eine relevante Information dar, da die Wahrscheinlichkeit von unbeheizten Räumen bei größeren Wohnungen und höheren Zimmeranzahlen erhöht ist. Gleichzeitig findet allerdings bei moderner Bausubstanz eine Angleichung der Temperaturen im gesamten Wohnbereich statt.⁹⁰ Bei energetisch hochwertigen Gebäuden ist ebenso die Ausnutzungsmöglichkeit solarer Gewinne relevant für den Heizenergieverbrauch, weswegen nach der Lage bzgl. der Sonneneinstrahlung gefragt wird. Zu diesem Zweck wird sich ebenfalls nach der Art und Regelungsmöglichkeit der Sonnenschutzeinrichtungen erkundigt. Durch energetische Sanierungen wird oftmals auch die Wohn- und Nutzfläche verändert, weswegen Wohnflächenerhöhungen, wie Ausbau, Anbau oder Aufstockung, oder auch die Integration der Balkone stattfinden können. Als ‚altbekannte‘ Wärmebrücke gelten die Balkone, weswegen deren Verbund mit dem Gebäude von Wichtigkeit für die Erhebung ist.⁹¹ Ebenso gilt dies für nicht oder nur teilbeheizte Treppenhäuser und deren Lage im Gebäude. Der nach wie vor schwer einzuschätzende Nutzereinfluss sollte im Unterpunkt ‚Bewohner und Nutzung‘ Tribut gezollt werden. Einflüsse werden dabei sowohl von der Anzahl der Mieter insgesamt (insbesondere für Warmwasserverbrauch von Bedeutung), als auch deren Altersverteilung und ihrer sozio-ökonomischen Situation vermutet.⁹² Bei Berufstätigen, die tagsüber außer Haus sind, wird daher ein geringer Heizenergieverbrauch anfallen, als dies bei Familien oder erwerbslosen Nutzern der Fall ist, die sich deutlich häufiger innerhalb der Wohnung aufhalten.⁹³ Desweiteren wird nach der Heizungsregelung und der Bedienung einer gegebenenfalls installierten Lüftungsanlage gefragt, da es auch hier oft auf Grund fehlerhafter Bedienung zu erhöhtem Energieverbrauch kommen kann. Tabelle 10 zeigt hier exemplarisch die Umsetzung des angesprochenen Teilbereichs zu „Bewohner und Nutzung“.

⁸⁹ vgl. Raschper, 2010b.

⁹⁰ vgl. Schröder, Engler, Boegelein, & Ohlwärter, 2010, S. 5.

⁹¹ vgl. Gierga & Staniszewski, 2014, S. 29.

⁹² vgl. Hansen, 2015, S. 111.

⁹³ vgl. Stolte, Marcinek, Bigalke, & Zeng, 2013, S. 8.

Tabelle 10: Ausschnitt Zusatzdaten Fragebogen⁹⁴

Bewohner und Nutzung		
	Wie viele Personen sind im Gebäude wohnhaft?	
	Ungefähre Altersverteilung	1 - 18-29 Jahre 2 - 30-49 Jahre 3 - 50-64 Jahre 4 - 65 und älter
	Sozio-ökonomische Situation der Bewohner: Werden die Mieten/ Nebenkosten vom Staat beglichen?	1 - bei 0% der Fall 2 - bei ca. 25% der Fall 3 - bei ca. 50% der Fall 4 - bei ca. 75% der Fall 5 - bei 100% der Fall
	Wie kann der Nutzer die Wärme im Raum regeln?	1 - automatische Regelung, kein manuelles Einstellen möglich 2 - Thermostatventil am Heizkörper 3 - raumweise Regelung
	Ist die Lüftungsanlage individuell (wohnungs-/raumweise) regelbar?	1 - individuell (dezentral) 2 - nur indirekt regelbar (zentral)
	Fand eine Einweisung der Mieter in die Besonderheiten eines Niedrig-, Niedrigst-Energiehauses statt?	0 - Nein 1 - Ja

Bei der Anlagentechnik stellen sich die Fragen, ob eine Klimatisierung möglich ist und ob bereits eine Anlagenoptimierung stattgefunden hat. Oftmals wird die Anlagentechnik nach dem Einbau eines neuen Energieerzeugers nicht hydraulisch abgeglichen oder an die niedrigeren Betriebstemperaturen angepasst. Eine maßgebliche Ursache für einen erhöhten Energieverbrauch.⁹⁵ Auch die Art und Weise der Verbrauchsmessung selbst kann Einfluss haben, hierbei ist v.a. relevant, wo diese installiert sind. Wird das Warmwasser direkt am Wasserhahn erfasst (Warmwasserzähler) oder wird die Wärmemenge gemessen, die benötigt wird, um das Warmwasser zu erhitzen und somit auch alle Leitungsverluste impliziert?⁹⁶ Auch zeigt sich, dass eine dem Mieter monatlich vorliegende Abrechnung durchaus in geringerem Energieverbrauch münden kann.⁹⁷ Abschließend stellt sich die Frage, ob die Sanierung tatsächlich zu einer Reduktion der Energiekosten geführt hat.

Die Begründungen sind dabei in den jeweiligen Literaturstellen detailliert nachzulesen und wurden hier nur verkürzend aufgeführt. Die Verifizierung dieser Aussagen konnte mit der vorliegenden Ausarbeitung auf Grund der mangelnden Rücklaufquote nicht in Gänze vorgenommen werden. Sie verdeutlichen allerdings zahlreiche interessante Zusammenhänge und Fakten, die relevant und im Vorfeld erhebungsfähig schienen und aus diesem Grund in den Fragebogen aufgenommen wurden. Auch nach der Erhebung und weiterer Recherche finden alle aufgeführten Zusatzfragen ihre Berechtigung und sind durch ihre Einflüsse auf den Energieverbrauch substantiell für eine hochwertige Erhebung. Da sowohl die Bedarfswert-

⁹⁴ eigene Darstellung; Quellen der einzelnen Punkte im Text dargestellt; vollständiger Fragebogen im Anhang B: Fragebogen.

⁹⁵ vgl. Jagnow & Wolff, 2008, S. 7.

⁹⁶ vgl. Jagnow & Wolff, 2008, S. 40.

⁹⁷ vgl. Stumpf, 2014, S. 67.

rechnung als auch die Verbrauchswertabschätzung durch den Kontext weiterer umfassender Einflüsse an Qualität gewinnen, werden die empirisch belegten Einflussparameter in Kapitel 7.4 dargestellt.

3.3 Probleme bei der Erhebung

Die erste Anfrage bzgl. Gebäude- und Verbrauchsdaten wurde am 15. Juni formuliert und die Informationen zum letzten Gebäude gingen am 4. September ein. Die fast viermonatige Zeitspanne gibt bereits einen Anhaltspunkt darüber, dass sich die Beschaffung der notwendigen Daten für die Bedarfsberechnung und der zugehörigen Verbrauchswerte schwierig gestaltete. Insgesamt wurden neben den sechs IWU-Kontakten noch 32 weitere Wohnungsunternehmen im gesamten Bundesgebiet kontaktiert. Diese äußerte sich in einer erstmaligen Kontaktaufnahme via E-Mail und einer folgenden telefonischen Nachfrage, ggf. Besuch. Neben den derzeit nicht verfügbaren personellen Ressourcen wurde der zeitliche Aufwand als Hauptproblem genannt, der eine Unterstützung verhinderte. Grundsätzlich zeigte sich ein aufgeschlossenes Bild der Thematik gegenüber, allerdings ist die bisherige strukturierte Erfassung der energetisch relevanten Daten noch nicht ausreichend vorangeschritten. Auch wurde von zwei Wohnungsunternehmen bemängelt, dass einige Parameter „erst erhoben werden müssen“, welches dieses Bild bestätigt. Da sich die Anfrage auf Gebäude- und Verbrauchswerte bezog, war den Unternehmen, wenn diese nicht gesonderte nachhaltigkeitsversierte Projekte verfolgten, oftmals die zugehörige Abteilung unklar. So wurde in einem Wohnungsunternehmen die Anfrage von der Planungsabteilung über die EDV zur Abrechnungsstelle weitergereicht, sich aber keine Stelle in der Verantwortung sah. Um die Datenversorgung dennoch sicherzustellen, fanden eigenhändige Auslesungen der Daten direkt bei den Wohnungsunternehmen statt, die den Aufwand der kooperierenden Beteiligten minimierte. Weitere Ungereimtheiten traten in der späteren Analyse auch beim Abgleich von Datenbank, Bedarfsausweis und Verbrauchsabrechnung auf, welches wiederum auf fehlerhafte Eintragungen und Aktualisierungen hindeutete. Zweierlei Flächenbezüge auf der Abrechnung selbst, waren ein weiter problembehafteter Punkt.

3.4 Datengrundlage

Durch die aufgezeigten uneinheitlichen Erhebungsmöglichkeiten und den in verschiedenen Wohnungsunternehmen unterschiedlich vorliegenden Datenstrukturen zeigt sich ein ebenfalls uneinheitliches Bild der Quantität und Qualität der zur Verfügung gestellten Daten. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die schlussendlich in die Berechnung eingegangene Informationslage der Gebäude- und Verbrauchsdaten. Am meisten Gebäude konnten dabei von Wohnungsunternehmen aus Frankfurt (20 Gebäude) und einer Erhebung in einem Ingenieurbüro in Köln (24 Gebäude aus der Evaluierung eines Sanierungsprojekts in Neuwied) bezogen werden.

Tabelle 11: Datenübergabe der Wohnungsunternehmen⁹⁸

Unternehmenssitz	übergebene Daten	Anzahl der Objekte
Frankfurt	- Auszug aus Gebäudedatenbank (Datenbank orientiert sich bereits am KVEP) - unternehmensinterne Zusammenstellung einer Übersicht der Energie/Wärme und Energie/WW-Werte - Energiebedarfsausweise (Dämmwerk) - Heizkostenabrechnungen der in der Übersicht unplausibel erscheinenden Werte	20
Neuwied	- Bereitstellung der Gebäude- und Verbrauchsdaten durch ein Ingenieurbüro in Köln, welches ein dortiges Sanierungsprojekt 2008 evaluierte - Einfügen der Gebäude- und Verbrauchsdaten vor Ort in den Fragebogen (Gebäude&Anlage und Verbrauch)	24
Gießen	ausgefüllter Fragebogen	6
Nienburg	- ausgefüllter Fragebogen - Heizkostenabrechnung - Energiebedarfsausweis - Grundriss - Bilder	1
Waiblingen	- Energiebedarfsausweise (EPASS HELENA) - Heizkostenabrechnung	2
Heidelberg	- Im IWU vorliegende Gebäudedatenbank inkl. der flächenspezifischen Verbrauchswerte für 3 Jahre - Auswahlkriterium: U-Werte der Außenwände (die meist bei Sanierungen angegangen werden) kleiner als 0,24 W/m²K und Zentralheizung	10
Projekt ‚Rotlinstr.‘	Vom IWU wissenschaftlich und messtechnisch betreut, umfangreiche Dokumentationen sowie PHPP-Berechnungen vorliegend	3

Die Wohnungsgesellschaften aus Gießen und Heidelberg steuerten jeweils mit 6 bzw. 10 Gebäuden zur anfänglichen Auswertung bei. Zusätzlich fand eine Unterstützung durch die Gesellschaften aus Waiblingen und Nienburg statt. Das vom IWU betreute Sanierungsprojekt in der Rotlinstraße fand ebenfalls Eingang in die Gegenüberstellung. Die Form der übergebenen Daten variierte von ausgefüllten Fragebögen, detaillierten PHPP⁹⁹-Berechnungen, über Wärmebedarfsausweise bis hin zu Datenbanken, die ihre Bestände bereits mit dem KVEP erfasst hatten. Insgesamt wurden von den Wohnungsunternehmen 66 Gebäude zur Verfügung gestellt, für die eine Datenaufbereitung vorgenommen wurde.

⁹⁸ eigene Darstellung.

⁹⁹ PHPP: Passivhaus-Projektierungspaket.

4 Datenaufbereitung

Bevor die Bedarfsberechnung gemäß dem TABULA-Verfahren erfolgen konnte, mussten die vielfältigen Daten aus verschiedenen Bilanzierungsverfahren erst auf einen ‚Nenner‘ gebracht werden. Da das TABULA-Verfahren nur nach Außenwand, Dachfläche bzw. oberste Geschossdecke, Außenwand gegen Außenluft oder Erdreich, Fenster und Kellerdecke (alternativ Bodenplatte) unterscheidet, war dieser Schritt notwendig. Im Anschluss erfolgten die Berechnungen der Flächenschätzung, der U-Werte, der Transmissionswärmeverluste, der internen und solaren Gewinne und schlussendlich die Aufwendungen zur Wärmebedarfsbereitstellung durch die Anlagentechnik. Für eine geeignete Gegenüberstellung von Verbrauchs- und Bedarfswerten mussten im Anschluss auch die Verbrauchswerte einheitlich aufbereitet werden.

4.1 Homogenisierung der Daten

Die erste Aufgabe bestand darin, die zahlreichen unterschiedlich vorliegenden Datenformate in ein einheitliches Bild zu konfigurieren. Falls die Energiebedarfsausweise detaillierte Flächenangaben enthielten, die durch die Bauteile in TABULA nicht separat abgebildet werden konnten, wurden diese mittels einer dafür konzipierten Flächenmappe in die in TABULA eingehenden Bauteile umgerechnet. War im Bedarfsausweis bspw. eine Außenwand und eine Loggia eingetragen, ging in TABULA eine Außenwandfläche (inkl. Loggia-Fläche) ein, deren mittlerer U-Wert aber beide Bauteile anteilig berücksichtigte.

$$A = \sum_j A_j \quad [\text{m}^2]$$

$$U = \frac{\sum_j U_j * A_j}{\sum_j A_j} \quad [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

Tabelle 12 zeigt das Schema, nach dem die Bauteile der Energiebedarfsausweise den in TABULA berücksichtigten Flächen zugewiesen wurden.

Tabelle 12: Bauteilezuordnung Wohnungsunternehmen/TABULA¹⁰⁰

Bauteile Wohnungsunternehmen	TABULA		Angrenzender Bereich
Außenwand, Loggia, Treppenhaus	Außenwand	Wall1	Außenluft
Flachdach, Schrägdach Ost/ West	Dachfläche	Roof1	Außenluft
Dachschräge, Kehlbalkendecke über dem Treppenhaus, oberste Geschossdecke, Innenwand Dachgeschoss, Wand/ Decke zu unbeheiztem Dachraum	oberste Geschossdecke	Roof2 (Upper Ceiling)	unbeheiztes Dachgeschoss
Fenster, Fenster mit Lüfter, Treppen-	Fenster	Window1	Außenluft

¹⁰⁰ eigene Darstellung.

hausfenster, Fenster mit Glasaus-tausch			
Außenwand gegen Erdreich, Fußboden Kellergeschoss	Außenwand Erdreich	Wall2_Soil	Erdboden
Kellerdecke, Innenwand Kellergeschoss, Fußboden gegen Keller	Kellerdecke	Floor1	unbeheizter Keller

Als Kriterium für diese Zuordnung wurde der jeweils angrenzende Bereich betrachtet und der damit verbundene einheitliche Wärmewiderstandswert R_{Add} bzw. Temperatur-Korrekturfaktor $b_{Transmission}$. Für die an die Außenluft angrenzenden Außenwände ergibt sich für die Transmissionswärmeverluste ein Temperatur-Korrekturfaktor von 1, während dieser bei Flächen, die den Erdboden berühren bei 0,5 liegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei der vorliegenden Stichprobe die thermische Gebäudehülle nach unten in der Regel mit einer gedämmten Kellerdecke abschließt, da die Keller nicht beheizt oder gedämmt sind.

Neben der Gebäudehülle mussten auch die Angaben zur Anlagentechnik in das angewendete Schema eingepasst werden. Da im Sanierungs- und Modernisierungsfall häufig eine zentrale Versorgung installiert wird, konnte in den überwiegenden Fällen, insofern keine anderen Angaben vorlagen, von einem neuen Wärmeerzeuger (nach 1995) ausgegangen werden. Ähnlich verhielt es sich mit der Speicherung und Verteilung von Warmwasser in den Gebäuden. Diese wird im Rahmen der Sanierung entweder ebenfalls erneuert oder zumindest auf aktuellen EnEV-Standard gedämmt. Die Angabe hierzu lautet in TABULA: ‚zentrale Verteilung, horizontale Stränge in unbeheizten Räumen (z.B. Keller) oder im Boden/ab 1995‘ bzw. in Kurzform: ‚C_Ext (ab 1995)‘. Dieselbe Annahme gilt auch beim Anschluss an ein Fernwärmenetz.

4.2 Energiebedarfsberechnung

Nach der Vereinheitlichung konnte die Energiebedarfsberechnung erfolgen. Ausgehend von dem in Kapitel 2.4.2 bzw. ‚Anhang A-4: Berechnungsverfahren TABULA‘ detailliert dargestellten Verfahren wurde eine Excel-Mappe erstellt, die die Berechnungsschritte und die notwendigen Rahmendaten (z.B. Aufwandszahlen der Anlagentechnik) enthält. Die Mappe gliedert sich in folgende Arbeitsblätter:

- Übersicht
Die auf der ersten Seite des Fragebogens eingegebenen Daten können hier transponiert eingefügt werden. Die nachfolgenden Arbeitsblätter beziehen sich auf die entsprechenden Zellen.
- Calc.Envelope – Berechnung der Bauteilflächen/Flächenschätzung
Auf diesem Arbeitsblatt finden die Flächenberechnungen bzw. die Eintragung der detaillierten Flächen (insofern sie vorliegen) statt. Sind mehrere Fensterarten vorhanden, findet auch diese in der Flächenschätzung (Window1 und Window2) Berücksichtigung.
- Calc.U.Value – Berechnung der U-Werte

Neben der effektiven U-Wert Berechnung aus Baualtersklasse, Dämmungsdicke und – Flächenanteil können auch die detaillierten U-Werte aus den Bedarfsausweisen eingetragen werden.

- **Calc.Building.Loss – Berechnung des Wärmebedarfs**
Abhängig von den verschiedenen Klimadaten in den Jahren der vorliegenden Verbrauchsdaten werden die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste berechnet und hochaddiert. Das Ergebnis ist ein auf die Wohnfläche bezogener spezifischer Wärmeverlust pro Quadratmeter.
- **Calc.Inter.Solar.Gains – Berechnung interner und solarer Gewinne**
Das Arbeitsblatt berücksichtigt die solaren und inneren Gewinne des Gebäudes. Das Resultat ist der Heizwärmebedarf des Gebäudes.
- **Calc.System.DHW – Berechnung der Warmwasserbereitung**
Hier erfolgen die Eintragungen zur Erzeugung, Speicherung und Verteilung des Warmwassers. Je nach System, Aufstellung und Lage von Speicher und Rohren kann Wärme wiedergewonnen werden und geht als Plus in die Bilanz ein.
- **Calc.System.H – Berechnung der Heizanlage**
Analog erfolgen die Eintragungen beim Heizsystem. Abhängig vom Anteil des Heizsystems, der wiedergewinnbaren Wärme des Warmwassersystems und den Ergebnissen der Wärmebedarfsrechnung erfolgt zusammen mit der Aufwandszahl des jeweiligen Wärmeerzeugers die gelieferte Energiemenge.
Zusätzlich werden die Hilfsenergien für Verteilung und Lüftung eingefügt.

Um die Gebäude möglichst genau in der Bedarfsrechnung abzubilden, gehen die Klimadaten der vorliegenden Abrechnungszeiträume in die Berechnung mit ein. Lag beispielsweise eine Heizkostenabrechnung für das Jahr 2014 vor, wurden die Heiztage und die mittlere Außentemperatur in die Bedarfsrechnung mit aufgenommen. Je nach Gebäudestandard wurden die Innentemperaturen, falls keine detailliert bekannt waren, ebenfalls wie folgt angepasst:

- Gebäude ohne weitere Angaben/vollmodernisiertes Gebäude: 20°C
- KfW-Effizienzhäuser/Passivhaus: 21°C
- 3 Gebäude mit Angabe: 22°C

Bei allen Gebäuden wurde eine Heizgrenztemperatur von 12°C, bei den Passivhäusern eine Heizgrenztemperatur von 10°C bei der Ermittlung der Klimadaten berücksichtigt. Diese Annahmen und Angaben entsprechen dem IWU-Excel-Tool ‚Gradtagszahlen_Deutschland‘.¹⁰¹

Für die spätere Gegenüberstellung wird der Endenergiebedarf herangezogen, der als ‚neutraler‘ verbrauchsunabhängiger Fixpunkt die Ausgangsgröße der Zuordnung darstellt. Da der Wert nicht nur die gebäudespezifischen Transmissionswärmeverluste des Gebäudes, sondern auch den Energieaufwand für Heizung und Warmwasser berücksichtigt, stellt er die Größe dar, die einerseits bestimmbar ist und andererseits den Verbrauch auf der Heizkostenabrechnung am besten widerspiegeln kann. Dieser wird ebenfalls, wie später die Ver-

¹⁰¹ vgl. IWU, 2015.

brauchswerte, auf die Wohnfläche und einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr bezogen.

4.3 Ermittlung der Verbrauchskennwerte

Als Verbrauchskennwerte werden in dieser Arbeit Werte definiert, die die gesamten Energieverbräuche für Heizung und Warmwasser für ein angegebenes Jahr und bezogen auf die Wohnfläche widerspiegeln. Nicht nur die Gebäudedaten, sondern auch die Verbrauchsangaben waren in unterschiedlichen Detailtiefen vorhanden und mussten entsprechend vergleichbar gemacht werden. Sie sind entweder aus den Heizkostenabrechnungen abgelesen, dem Fragebogen oder aus Dokumentationen/Datenbanken¹⁰² entnommen und entsprechend aufgearbeitet. Dabei wird sich abweichend den EnEV-Regularien für Verbrauchs-Energieausweise am oberen Brennwert orientiert bzw. der Verbrauch auf der Heizkostenabrechnung verwendet, da dieser die gesamte Wärmeleistung (inkl. Verdampfungsenthalpie) berücksichtigt. Zu welchen Diskrepanzen eine undeutliche Darstellung der Bezugsgrößen führen können, sei am folgenden Beispiel illustriert:

Für ein Gebäude mit 2000 m² Wohnfläche wird ein Gasverbrauch von 250.000 kWh pro Jahr abgerechnet. Die sich einstellenden möglichen Angaben zu den ‚Verbräuchen‘ sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13: Variation Verbrauchskennwert: Flächenbezug, Brennwert¹⁰³

	Wohnfläche	Nutzfläche (EnEV)
Brennwert	125 kWh/(m _{Wohn} ² a)	104 kWh/(m _N ² a)
Heizwert	112,5 kWh/(m _{Wohn} ² a)	93,75 kWh/(m _N ² a)

Ist zusätzlich die Berücksichtigung der Warmwasseranteile nicht bekannt, ergeben sich weitere Spielräume. Werden für das oben genannte Gebäude nun die Warmwasseranteile des Verbrauchs (bezogen auf Brennwert und Wohnfläche) abgezogen, ergibt sich je nach Stand der gültigen Heizkostenverordnung:

- pauschal (Heizkostenverordnung bis 2009) 18%: 102,5 kWh/(m_{Wohn}²a)
- pauschal 32 kWh/(m²a): 93 kWh/(m_{Wohn}²a)

Es wird deutlich, dass sich allein durch Unklarheiten bei diesen Angaben Spannen von 125 kWh/(m_{Wohn}²a) bis 93 kWh/(m_N²a) ergeben können. Wird nun beim Erstellen eines Verbrauchsausweises, für diesen ist laut ‚Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchs-werte‘ der untere Heizwert (H_u) anzuwenden,¹⁰⁴ der Brennwert direkt aus der Abrechnung übernommen, ergibt sich fälschlicherweise eine um 10 % überhöhte Darstellung des Verbrauchs.¹⁰⁵

Abweichend zur EnEV und auch der VDI wird zudem auf eine Witterungsbereinigung verzichtet. „Die Klimabereinigung mittels Gradtagszahl beinhaltet ein großes Fehlerpotential,

¹⁰² Bei einem Wohnungsunternehmen wurde einer Übersicht über die Wärme- und Warmwasserwerte vertraut, deren Unklarheiten durch erneute Nachfrage nach den zugehörigen Heizkostenabrechnungen beseitigt werden konnten.

¹⁰³ eigene Darstellung.

¹⁰⁴ vgl. BMWi & BMUB, 2015b, S. 3.

¹⁰⁵ vgl. Fisch, et al., 2012, S. 43.

das mit steigendem Wärmeschutz zunimmt.“¹⁰⁶ Bei Verwendung bereinigter Werte können fehlerhafte Annahmen und uneinheitliche Bezüge auf alten oder neuen Referenzort (Würzburg <-> Potsdam) nicht ausgeschlossen werden. Stattdessen wurden die örtlichen klimatischen Bedingungen (Heiztage und mittlere Außentemperatur in der Heizzeit) in der Bedarfsrechnung berücksichtigt. Ein solches Vorgehen beinhaltet weniger Fehlermöglichkeiten und liefert am Ende der Auswertung Benchmarks, die direkt mit den vor Ort auftretenden Energieverbräuchen verglichen werden können.

Ergebnis der Datenaufbereitung

Aus den anfänglichen 66 Mehrfamilienhäusern mussten nun im Zuge der Vereinheitlichung der Daten und der teilweise unvollständigen Datenlage noch einige Abstriche vorgenommen werden. Da der Großteil der Verbrauchswerte für Heizung und Warmwasser vorlag, wurde hierauf der Fokus bei der Analyse gelegt. So fielen sechs Objekte aus der Analyse durch fehlende oder unplausible Verbrauchswerte, weitere acht Objekte durch fehlende Angaben bzgl. der Warmwasserverbräuche, die dadurch zu Stande kam, dass diese separat vom Heizsystem (dezentral) erzeugt und damit direkt mit den Verbrauchern (nicht über das Wohnungsunternehmen) abgerechnet werden. Für ein Objekt konnten die Gebäudedaten nur unzureichend aus dem Energiebedarfsausweis ausgelesen werden. Durch besagte Einschränkungen gingen in die Analyse schlussendlich **51 Gebäude** ein, deren Gebäudedaten und Verbräuche plausibel für ein bis drei Jahre vorlagen.

¹⁰⁶ Erhorn, 2007, S. 8.

5 Datenanalyse

Nach der Datenaufbereitung standen nun die Bedarfs- und Verbrauchswerte von 51 betrachteten Gebäuden für eine weitere Analyse zur Verfügung. Für all diese Gebäude konnten detaillierte Flächen- und U-Werte ausgelesen oder ermittelt werden. Um einen allgemeinen Überblick über den Umfang der Daten und die Größenordnungen zu geben, wird zuerst die Datengrundlage beschrieben. Die realen und berechneten Werte werden im Anschluss gegenübergestellt, um erste Abhängigkeiten, Zusammenhänge und Einflussparameter zu identifizieren, die als Basis für die Einteilung der Benchmarks fungieren. Im Laufe der weiteren Untersuchung konnte dann abhängig von der Qualität der Gebäude- und Verbrauchsdaten auf auffallende Objekte (Mehrverbraucher) vertiefend eingegangen werden.

5.1 Zusammensetzung der Ausgangsdaten

Die im Folgenden vorgenommene Analyse stellt die Ergebnisse von 51 Gebäuden mit insgesamt über 76.000 m² Wohnfläche und 1170 Wohneinheiten dar. Sie erstreckt sich von kleinen Mehrfamilienhäusern mit 6 Wohneinheiten bis zum Gebäudeblock mit 122 Wohnungen. Die durchschnittliche Wohnung hat in der vorliegenden Stichprobe eine Größe von ca. 65 m² und liegt damit knapp unter dem Bundesdurchschnitt.¹⁰⁷ Die Wärmeerzeugung findet überwiegend mit Fernwärme und Brennwertkesseln statt. Von diesen wird lediglich ein einziges Gebäude mit Heizöl betrieben, alle anderen erzeugen mit Erdgas Wärme. Das älteste Gebäude wurde im Jahr 1953 errichtet, das Neueste 2000. Die Baualtersklasse ‚DE.05‘ mit den Baujahren 1958 bis 1968 ist dabei mit 30 Gebäuden deutlich am stärksten vertreten. Bei Betrachtung des Sanierungsstandes, insofern dieser vorlag, ist positiv zu bemerken, dass ein Großteil der Gebäude vollständig saniert wurde. Als vollständige Sanierung wird in dieser Arbeit definiert, wenn Dämmmaßnahmen an Außenwand, Dach/oberste Geschossdecke und Kellerdecke bzw. –Boden vorgenommen wurden. Lagen keine genauen Angaben zum Austauschjahr der Fenster vor (ein Fensteraustausch fand oftmals bereits in früheren Jahren unabhängig von einer größeren energetischen Sanierung statt), wurde bei einem U-Wert kleiner 1,8 von einem Wärmeschutzglas als modernisiertes Bauteil ausgegangen.¹⁰⁸ Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die dargestellte Zusammensetzung und der aus der Datengrundlage ableitbaren Einteilungsmöglichkeiten. In den vollständig (inkl. Fenster) sanierten Gebäuden sind auch vier Passivhäuser und zwei KfW-Effizienzhäuser⁵⁵ enthalten.

Tabelle 14: Verteilung und Merkmale der erhobenen Gebäude¹⁰⁹

	Summe	von	bis
Gebäudeanzahl	51		
Wohnfläche [m²]	76157,76	348,45	9277
Wohnungsanzahl	1170	6	122
Wohnungsgröße [m²]		50	85

¹⁰⁷ dieser liegt laut Zensus, 2014, S. 22 bei 68,9 m².

¹⁰⁸ vgl. Loga, 2015, S. Tab.U.Class.Window.

¹⁰⁹ eigene Darstellung.

Merkmale	eingeteilt in:	Kürzel	Verteilung Gebäude
Wärmeerzeuger	Brennwertkessel	B_C (boiler condensing)	22
	Fernwärme	TS (district heating transfer station)	21
	Niedertemperaturkessel	LT low-temperature non-condensing boiler)	7
	Holzpellets	WP (wood-pellets boiler)	1
Baualtersklassen	1949-1957	DE.04	9
	1958-1968	DE.05	30
	1969-1978	DE.06	8
	1984-1994	DE.08	1
	1995-2001	DE.09	3
Sanierungsstand	vollständig (inkl. Wärmeschutzfenster)		23
	vollständig (ohne Wärmeschutzfenster)		11
	AW + oG/Dach		11
	AW + Keller		2
	k.A.		4
vorliegende Verbrauchs- jahre	3 Jahre		23
	2 Jahre		24
	1 Jahr		4
Lüftung	freie Lüftung/Lüftung per Hand		36
	Abluftanlage		9
	Zu- und Abluftanlage mit 80 %-Wärmerückgewinnung		6
Orientierung	Süd		18
	West		13
	Ost		18
	Nord		2

Für den Großteil der Gebäude liegen zudem Verbräuche für mindestens zwei Jahre vor, welches die Verlässlichkeit der Verbrauchsdaten verbessert. Der Luftaustausch in den erhobenen Gebäuden muss in erster Linie händisch erfolgen, Anlagen mit Wärmerückgewinnung stellen eine Ausnahme dar und beschränken sich auf die Passiv- bzw. KfW-Effizienzhäuser. Klimatisch erstrecken sich die Gebäude von den Wetterstationen Hannover über Frankfurt bis nach Nürnberg-Barweiler. Um die Ausrichtung der Gebäude nach Himmelsrichtungen und die damit verbundenen solaren Gewinne ebenfalls zu berücksichtigen, wurde angenommen, dass diejenige Gebäudeseite mit der größten Fensterfläche die Ausrichtung des Gebäudes (Himmelsrichtung) widerspiegelt. Die angegebenen Kürzel der Wärmeerzeuger entsprechen den TABULA-Abkürzungen und werden auch in der weiteren Arbeit verwendet.

5.2 Gegenüberstellung der Energieverbräuche und –Bedarfe

Der erste Teil der Analyse beschränkt sich auf die reine Darstellung der rechnerisch ermittelten Werte und den zugehörigen Verbrauchswerten, die Gebäudemerkmale werden im nachfolgenden Kapitel aufgearbeitet. Neben der Diagrammdarstellung soll mittels Angabe von Median, Mittelwert und Quantilen ein Überblick über die Größen und Verteilungen der Werte gegeben werden. Daraus werden die errechneten Bedarfswerte in Klassen eingeteilt und die konkreten Relationen zum Verbrauch ermittelt.

5.2.1 Darstellung der Energieverbrauchs- und Bedarfswerte

Für einen ersten Eindruck des Zusammenhangs zwischen den Energieverbräuchen und rechnerischen Bedarfswerten der erhobenen Gebäude werden x-y-Diagramme verwendet. Diese erlauben eine direkte visuelle Einschätzung und sind damit Ausgangspunkt weiterer Analysen.¹¹⁰ Abbildung 4 zeigt den über dem Bedarf aufgetragenen Verbrauch der 51 Wertepaare. Die einer idealen Bedarfsrechnung entsprechende Winkelhalbierende ist ebenfalls eingezeichnet. Der grüne Pfeil unterhalb der Linie weist in Richtung der Minderverbraucher (-), der rote Pfeil in Richtung Mehrverbraucher (+). Direkt ist erkennbar, dass Gebäude mit einem sehr geringen Bedarfswert in der Tendenz über der Linie liegen, während Gebäude mit höheren Rechenwerten sich größtenteils darunter anordnen. Ebenfalls eingezeichnet ist der Median und der Mittelwert der Verteilung.

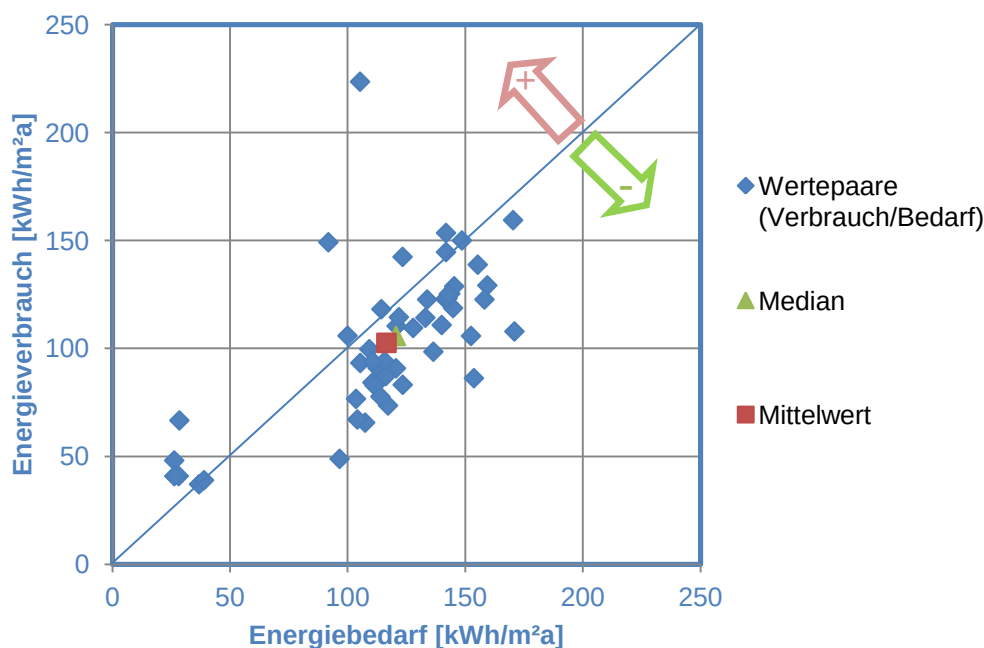


Abbildung 4: Diagramm Verbrauch/Bedarf mit Winkelhalbierende¹¹¹

Über alle Gebäude hinweg ergab sich ein mittlerer Bedarf von 116 kWh/(m²a) und beim Verbrauch ein Wert von 103 kWh/(m²a). Die Verbräuche bewegen sich dabei in einer Spanne von 37 bis 224 kWh/(m²a). Im Mittel sind die Verbräuche um über 5 % geringer als die

¹¹⁰ vgl. Cleff, 2015, S. 94 ff.

¹¹¹ eigene Darstellung.

zugehörigen Bedarfswerte, absolut um 14 kWh/(m²a). Dieser Trend der Minderverbräuche bei Bestandsgebäuden scheint sich auch bei sanierten Objekten wiederzufinden. Das ‚Minimum‘ unter den Minderverbräuchen beläuft sich hier auf fast 50 %, wohingegen auch ein Mehrverbrauch von über 134 % verzeichnet wurde. Um bei der Darstellung den Ausreißern etwas Gewicht zu nehmen, werden die Mediane gebildet.¹¹² Die Verteilungen der Werte können durch Angabe der Quantile verdeutlicht werden. Die Spanne der Quantile von 25 % bis 75 % zeigen den Bereich an, in dem folglich die mittleren 50 % der Auswertungsergebnisse liegen.

Tabelle 15: Bedarf, Verbrauch und Abweichung der Stichprobe¹¹³

	Energiebedarf (TABULA)	Verbrauch	Prozentuale Abweichung	Absolute Abweichung
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	%	kWh/(m²a)
Mittelwert	116,46	102,58	-5,33	-13,88
Median	120,50	105,78	-13,44	-18,30
Minimum	26,21	37,10	-49,20	-76,08
25% Quantil	106,36	82,99	-24,73	-30,15
50% Quantil	120,50	105,78	-13,44	-18,30
75% Quantil	142,12	123,06	0,49	0,30
Maximum	170,88	223,55	134,50	118,32

Für den rechnerischen Bedarf liegen dementsprechend 50 % zwischen 106 und 142 kWh/(m²a), beim Verbrauch zwischen 83 und 123 kWh/(m²a). Der Median ist deutlich geringer als der Mittelwert und beläuft sich im Schnitt auf eine Abweichung von -13 %, absolut ist der Verbrauch um 18 kWh/(m²a) geringer als der Bedarfswert.

In diesem Kontext muss darauf hingewiesen werden, dass die prozentualen Abweichungen immer von der Höhe der Ausgangswerte abhängig sind. So führt ein absoluter um 30 kWh/(m²a) erhöhter Verbrauch bei einem Energieeffizienzhaus schnell zu einem 100 %-igen Mehrverbrauch, wohingegen dieser bei einem sanierten Gebäude mit einem Bedarf von 120 kWh/(m²a) lediglich eine Abweichung von 25 % bedeuten würde.

5.2.2 Einteilung in Energiebedarfsklassen

Die Streuung und Spanne der Verbrauchs- und Bedarfswerte legt eine Einteilung in Bedarfsklassen nahe. Die Klassen erscheinen notwendig, da die Benchmarks Bezugsgrößen benötigen, die die verschiedenen Gebäude-Spezifika berücksichtigen. Für ein Gebäude mit Außenwand- und Kellerdeckendämmung würde ein Verbrauchswert von 50 kWh/(m²a) keine realistische Zielgröße darstellen. Die Punktwolke scheint sich entsprechend in drei Bereiche zu gliedern, die jeweils mit lateinischen Großbuchstaben voneinander abgegrenzt werden.¹¹⁴ Die energetisch sehr hochwertigen Gebäuden (KfW-Effizienzhäuser55 und Passivhäuser)

¹¹² vgl. Kuß, Wildner, & Kreis, 2014, S. 218.

¹¹³ eigene Darstellung.

¹¹⁴ Derartige Effizienzklassen finden auch in der EnEV Anwendung (Anlage 10). Diese spiegeln aber nicht die auf diese Stichprobe zugeschnittene Klasseneinteilung wieder, weswegen hier eine explizite Abgrenzung vorgenommen wird.

werden dabei mit Bedarfswerten unter 50 kWh/(m²a) als Klasse A definiert. Mit größerem Abstand folgen die Gebäude der Klasse C mit Bedarfswerten von 90-130 kWh/(m²a) und Klasse D mit Werten über 130 kWh/(m²a), da sich der mittlere und hintere Teil der Wolke bei etwa 130 kWh/(m²a) abzutrennen scheint. Die „Lücke“ im Diagramm wird durch eine leere Klasse ‚B‘ berücksichtigt, die den Bereich von 50-90 kWh/(m²a) repräsentiert. In Abbildung 5 wurden die Klassen gemäß diesem Einteilungsschema farblich und symbolisch unterschieden, die Dreiteilung wird dadurch weiter hervorgehoben.

Die Feststellung einer über 50 kWh/(m²a) großen „Lücke“ bei der Bedarfsrechnung legt bereits im Vorfeld der Auswertung den Schluss nahe, dass derzeit noch ein großer Ausführungsunterschied zwischen den mustergültigen Modellprojekten und der durchschnittlichen ‚Standard‘-Sanierung klafft.

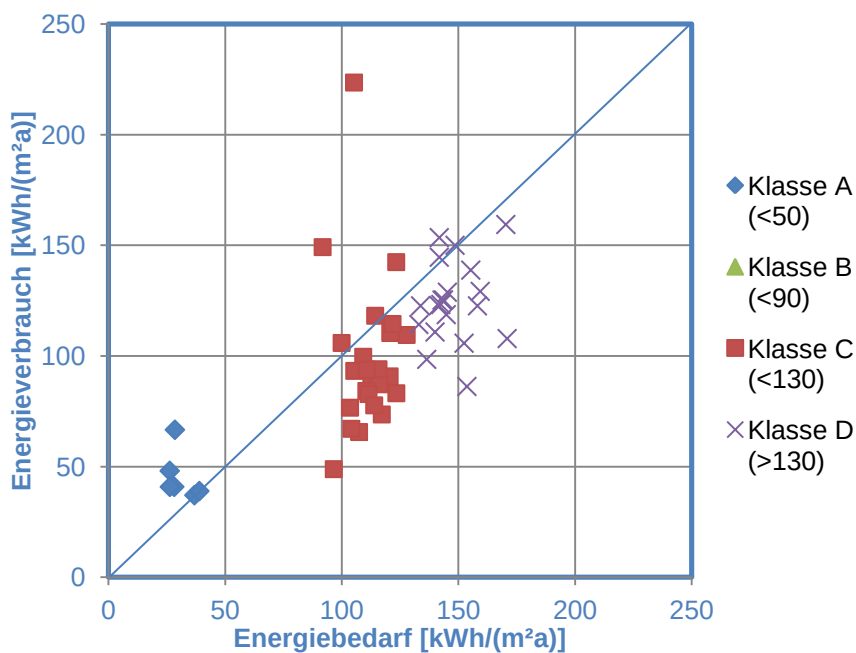


Abbildung 5: Verbrauch/Bedarf - nach Effizienzklassen¹¹⁵

In der Effizienzklasse A sind damit 6 Gebäude, in Klasse C 25 und in Klasse D 20 Gebäude enthalten. Tabelle 16 zeigt eine Übersicht über die Mittelwerte, Mediane und Abweichungen (prozentual und absolut) der Effizienzklassen. Für die Effizienzklasse A beläuft sich der Median auf 28 kWh/(m²a), der zugehörige Verbrauch liegt bei 41 kWh/(m²a). Die hohen Diskrepanzen von Median und Mittelwert in Bedarfsklasse C (8 kWh/(m²a)) und in Klasse A (fast 5 kWh/(m²a) bei geringen Ausgangswerten) deutet auf einen oder mehrere größere Ausreißer in diesen Gruppe hin. Der Median des Verbrauchs bei Bedarfsklasse D liegt hingegen deutlich näher am Mittelwert, dies lässt auf eine einheitlichere Struktur in dieser Gruppe schließen.

¹¹⁵ eigene Darstellung.

Tabelle 16: Bedarf und Verbrauch der Effizienzklassen¹¹⁶

Klasse	A		C		D	
Anzahl	6		25		20	
	Bedarf	Verbrauch	Bedarf	Verbrauch	Bedarf	Verbrauch
	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	
Mittelwert	30,80	45,43	111,95	98,82	147,79	124,42
Median	28,29	40,89	112,66	90,99	144,20	123,06
Abweichung:						
relativ [%]	53,48		-11,15		-15,69	
absolut [kWh/(m²a)]	14,64		-13,13		-23,37	

Die prozentualen Abweichungen in jeder Effizienzkategorie bestätigen die Neigung energetisch guter Gebäude zum Mehrverbrauch. Im Mittel übersteigen die Klasse A-Gebäude ihre Bedarfswerte um 53 %, während die anderen Klassen Minderverbräuche von 11 bis 16 % aufweisen. Trotz der 53%-igen Abweichung ergibt sich absolut ein Mehrverbrauch der A-Gebäude um lediglich 15 kWh/(m²a), in einem ähnlichen Bereich mit einem absoluten Minderverbrauch von 13 kWh/(m²a), jedoch nur 11% negativer Abweichung, bewegt sich Klasse C. Die niedrigste negative Abweichung (-23 kWh/(m²a)) kann in Klasse D festgestellt werden.

5.2.3 Exkurs: Korrelation Bedarf und Verbrauch

Die Idee der Anwendung einer Regressionsanalyse war im Vorfeld der Arbeit bereits gegeben und weiterhin inspiriert durch eine schlüssige Verbrauchs-Bedarfs-Abschätzung für Nichtwohngebäude.¹¹⁷ Die Darstellung der Literaturergebnisse in Kapitel 7.4 zur Bestimmung der weiteren Einflussgrößen fußen ebenfalls häufig auf multivarianten Regressionsanalysen. Der in der Arbeit vorliegende Stichprobenumfang ist für eine derartige Untersuchung und insbesondere dem Prüfen weiterer möglicher Einflussparameter (,Regressionskoeffizienten') eigentlich zu gering, die Regression stellt dennoch ein objektiv plausibles und anwendbares Verfahren dar. Wie die Ergebnisse einer solchen Regressionsanalyse aussehen könnten, soll deswegen nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Da, wie durch die Winkelhalbierende in Abbildung 4 bereits aufgezeigt wurde, der Bedarf und der Verbrauch nicht optimal miteinander korrelieren, und in Anbetracht dieser teils massiven Ausreißer ober- und unterhalb der Linie, wird die Frage nach zusätzlichen Einflussfaktoren noch einmal bekräftigt. Um dieser Überlegung nach zu gehen, muss zuerst geklärt werden, wie viel der Abweichung bereits durch den Bedarfswert selbst erklärt werden kann. Es wird folglich der Einfluss der ,abhängigen Variable: Bedarf' auf die ,unabhängige Variable: Verbrauch' untersucht.¹¹⁸ Zu diesem Zweck wird hier vereinfachend eine lineare Regression durchgeführt, um einen Eindruck über die Größenordnungen zu erhalten. Die lineare Regressionsgerade ist in Abbildung 6 eingezeichnet, die Regressionsgleichung ist ebenfalls dargestellt. Sie hat ein Bestimmtheitsmaß (R^2) von 0,433. Dieses besagt, dass in diesem Beispiel der Bedarf lediglich 43,3 % der Streuung erklären kann. Der Schnittpunkt mit der y-

¹¹⁶ eigene Darstellung.

Achse liegt bei ca. 28 kWh/(m²a). Interpretiert würde damit ein Gebäude, dessen rechnerischer Bedarfswert bei 0 kWh/(m²a) liegt, einen Verbrauch von 28 kWh/(m²a) aufweisen.¹¹⁹

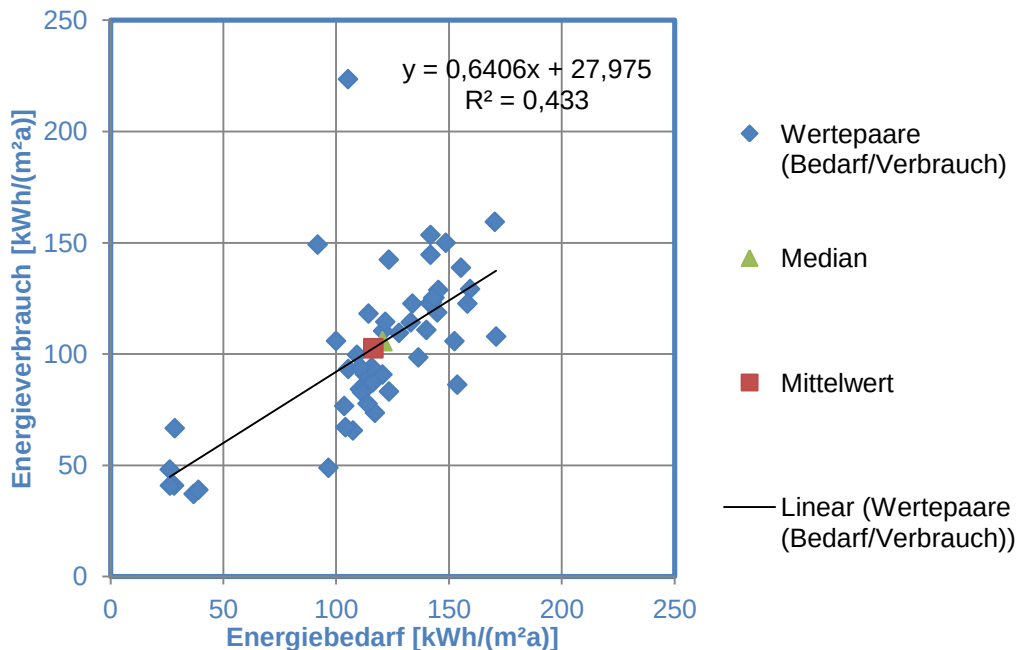


Abbildung 6: Verbrauch/Bedarf mit Trendlinie/Regression¹²⁰

Die Regressionsstatistik (Tabelle 17) zeigt, dass Bedarf und Verbrauch zu ca. 66% linear (!) miteinander korrelieren. Desweiteren wird ein Standardfehler von 27 kWh/(m²a) pro Jahr ausgegeben. Das bedeutet für einen aus dem Bedarf abgeschätzten Verbrauch von 75 kWh/(m²a) folgendes Ergebnis: Mit einer Wahrscheinlichkeit von 66% liegt der Verbrauch in einer Spanne von 75 kWh/(m²a) +/- 27 kWh/(m²a).

Tabelle 17: Regressions-Statistik Verbrauch/Bedarf¹²¹

Regressions-Statistik	
Multipler Korrelationskoeffizient	0,66
Bestimmtheitsmaß	0,43
Adjustiertes Bestimmtheitsmaß	0,42
Standardfehler	27,40
Beobachtungen	51

Die Form der Kurve deutet darauf hin, dass der lineare Zusammenhang (keine Normalverteilung) nicht ideal gegeben ist und ‚optimalere‘ Kurven möglich wären. Eine im Zuge der Auswertung eingefügte exponentielle Kurve würde zu einem Bestimmtheitsmaß von 60% führen. Auf Basis der Feststellung dieser hohen ungeklärten Streuung, werden im Folgenden weitere Abhängigkeiten qualitativ überprüft.

¹¹⁷ vgl. Hörner, 2015, S. 13-17.

¹¹⁸ vgl. Kuß, Wildner, & Kreis, 2014, S. 254.

¹¹⁹ vgl. Cleff, 2015, S. 135-142.

¹²⁰ eigene Darstellung.

¹²¹ eigene Darstellung, erstellt mit Microsoft Excel.

5.3 Prüfen von Gebäudemerkmale/Abhängigkeiten

Die verschiedenen Merkmale, nach denen die Gebäude in Tabelle 14 eingeteilt wurden, werden nun visuell auf ihren Einfluss überprüft. Es werden hierfür, wie bei den Bedarfsklassen, die Merkmale in Punktediagrammen verschiedenfarbig eingefärbt. Dies ermöglicht einen Eindruck, welche Größen für weiterführende Analysen Relevanz haben. Beispielfhaft werden hier die Gebäudemerkmale ‚Gebäudegröße‘ und ‚Wärmeerzeuger‘ dargestellt. Bei allen anderen Merkmalen werden nur die Interpretationen und deutlichsten Rückschlüsse aufgeführt, deren Diagramme sind in ‚Anhang C: Diagramme Gebäudemerkmale‘ zu finden. Auf die jeweils zugehörige Abbildung zum Gebäudemerkmale wird bei den Aufzählungspunkten verwiesen.

- **Gebäudegröße**

Bei der Gebäudegröße besteht einerseits die Unterscheidung nach Quadratmetern des Gesamtgebäudes (z.B. bei Brunata-Metrona) oder andererseits nach Anzahl der Wohneinheiten (z.B. bei ista-IWH). Da durch die Angabe der Wohnungen und die damit verbundenen verschiedenen Nutzerprofile durch eine Differenzierung nach Wohneinheiten (WE) besser repräsentiert werden können, wird diese Unterteilung bevorzugt. Dabei werden auch die Einteilungskategorien übernommen, diese jedoch durch die einprägsame Größenskalierung ‚S-XXL‘ ergänzt. Die Zuordnung und das Ergebnis der Merkmalsverteilung ist in Abbildung 7 enthalten.

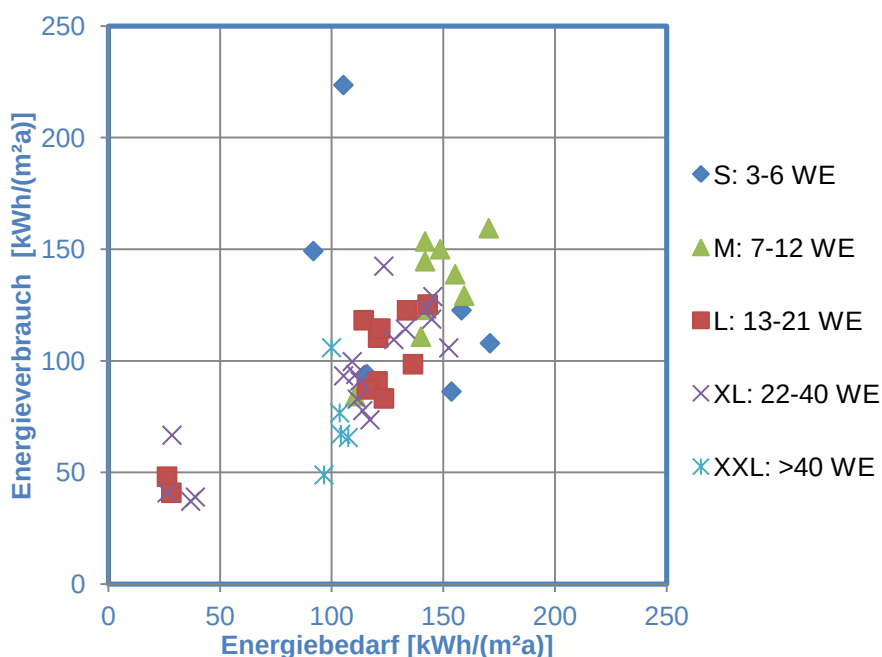


Abbildung 7: Diagramm des Gebäudemerkmals 'Gebäudegröße'¹²²

Aus dem Diagramm wird deutlich, dass v.a. kleine Gebäude sich im oberen Bereich mit hohen Verbrauchswerten einordnen. Gebäude mit sieben bis zwölf Wohneinheiten (‚M‘) sammeln sich praktisch an der 150 kWh/(m²a)-Ecke an. Die kleineren Gebäude (‚S‘) zeigen ein breiteres Bild. Während zwei Gebäude deutlich im oberen Bereich liegen und damit ihren

¹²² eigene Darstellung.

Bedarf weit übersteigen, bleiben die restlichen S-Gebäude teilweise deutlich hinter dem Bedarf zurück. Einerseits kann dies durch den geringen Kompaktheitsgrad (A/V-Verhältnis), andererseits durch die hohen Nutzereinflüsse bei geringeren Wohnungsanzahlen erklärt werden. Bei größeren Gebäuden mit mehr Nutzern ‚mitteln‘ sich die Werte von Viel- und Geringverbrauchern.¹²³

- **Wärmeerzeuger**

Bei der Unterteilung nach Wärmeerzeugern (Abbildung 8) gruppiert sich ein Großteil der mit Fernwärme versorgten Gebäude unterhalb der 100 kWh/(m²a)-Verbrauchsgrenze ein. Bei den Brennwertkesseln bewegen sich die Verbräuche zwischen 80 und 130 kWh/(m²a). Die geringeren Verbrauchswerte beim Fernwärmeanschluss können durch weitere Gebäude-merkmale erklärt werden, da dieser häufig in größeren und gut gedämmten Gebäuden vorgenommen wurde.

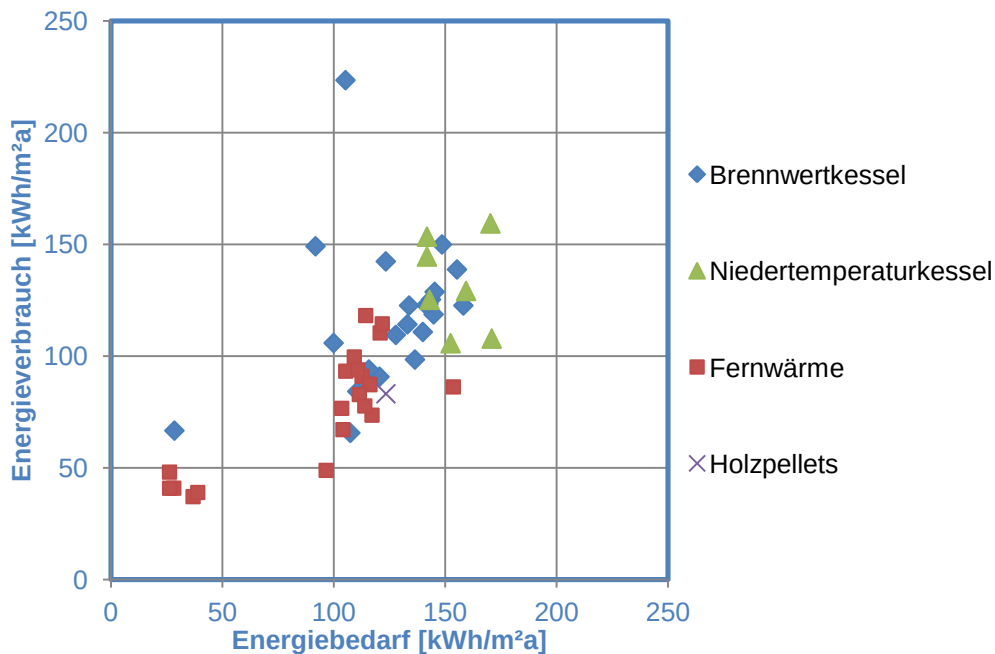


Abbildung 8: Diagramm des Gebäudemerkmals 'Wärmeerzeuger'¹²⁴

Die Wärmeerzeugung mit Niedertemperaturkesseln verbucht im Vergleich dazu die höchsten Verbräuche und liegt bei allen sieben Gebäuden über 100 kWh/(m²a). Auffallend sind zudem die durchweg hohen rechnerischen Bedarfswerte, diese folgen nicht nur aus der schlechten Aufwandszahl dieses Erzeugers, sondern auch in den meist alten Verteilungsleitungen, die an den Wärmeerzeuger anschließen. Das führt dazu, dass die prozentualen Abweichungen trotz insgesamt hoher Verbräuche deutlich negativ sein werden.

- **Gebäudehülle** (siehe Abbildung 26)

Bei der Gebäudehülle bzw. den verschiedenen Sanierungsbauteilen ergibt sich ein ebenfalls klares Bild: bleibt der Fensteraustausch bei einer vollständigen Sanierung aus, bzw. ist bis

¹²³ vgl. Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 51 ff.

¹²⁴ eigene Darstellung.

dato kein Wärmeschutzglas verbaut, führt dies zu ähnlich hohen Verbrauchs- und Bedarfs-
werten, wie wenn auf die Kellerdämmung verzichtet worden wäre.

Um den Einfluss der Gebäudehülle etwas spezifischer zu untersuchen, werden die Transmissionswärmeverluste ($h_{\text{Transmission}}$) betrachtet. Ausgangssituation ist die allgemeine Vermutung, dass mit steigendem Wärmeschutz der Gebäudehülle die Abweichungen von Bedarf und Verbrauchswert steigen.¹²⁵ Zu diesem Zweck werden für jedes Gebäude die Abweichungen über den Transmissionswärmeverlusten aufgetragen. Das Ergebnis dieser Wertepaare zeigt Abbildung 9. Die Primärachse (links) zeigt die absoluten, die Sekundärachse (rechts) die relativen Abweichungen.

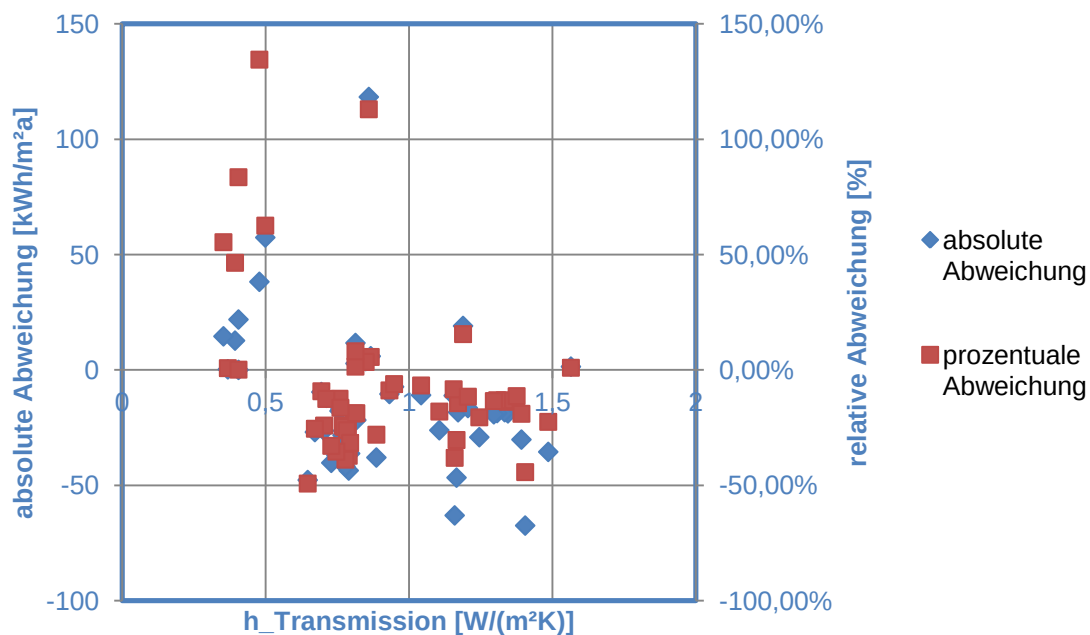


Abbildung 9: prozentuale Abweichungen vom Bedarf abhängig von den Transmissionswärmeverlusten¹²⁶

Ein sehr guter Wärmeschutz ($h_{\text{Transmission}} < 0,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) führt zu sehr hohen positiven Abweichungen, da der Einfluss nicht berücksichtigter Wärmebrücken deutlich zunimmt. Die absoluten Werte hingegen zeigen, dass die Abweichungen oftmals $25 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ nicht überschreiten. Dahingegen bleiben Gebäude mit ‚mittlerem‘ Wärmeschutz ($h_{\text{Transmission}}$ bis $< 1,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) im Bereich unterhalb der Achse, welches sich durch hinter dem Bedarfs-
wert zurückbleibende Verbräuche äußert, sowohl relativ als auch absolut. Die Verteilungen scheinen einer abnehmenden Kurve zu folgen, welches die Zusammenhänge zwischen Gebäudehülle und Abweichung weiter bekräftigt. Da der Bedarfs-
wert von der Gebäudehülle und die Abweichungen vom Verhältnis Verbrauch/Bedarf abhängig sind, stellen sie, ausgehend von diesen Tendenz, ein Indiz für weitergehende Verhältnismäßigkeiten dar.¹²⁷

¹²⁵ bspw. in Selk, 2010.

¹²⁶ eigene Darstellung.

¹²⁷ Auf die Ähnlichkeiten zur Kurve in Abbildung 21, rechts (Kapitel 7.2.2.2) wird an dieser Stelle bereits hingewiesen.

- **Lüftung** (siehe Abbildung 28)

Da die Zu- und Abluftanlagen nur in den ‚sehr guten‘ Gebäuden installiert wurden, zeigen diese die geringsten Verbräuche auf. Allerdings ist es offensichtlich auch mit freier Lüftung möglich, ähnlich geringe Werte zu erzielen. Auffallend sind die Abluftanlagen, die allesamt in Gebäuden mit Verbräuchen über 100 kWh/(m²a) auftreten. Durch die ebenfalls hohen Transmissionswärmeverluste ist jedoch auch von nicht hochgradig gedämmten Gebäuden auszugehen.

- **Anzahl vorliegender Verbrauchsjahre** (siehe Abbildung 27)

Bei der Anzahl der vorliegenden Verbrauchsjahre ergeben sich nur geringfügig Unterschiede. Für zwei und drei vorliegende Jahre ist das Bild sehr ähnlich, bei den vier Gebäuden mit nur einem abgerechneten Jahr liegen allerdings zwei deutlich über dem berechneten Verbrauch.

- **Orientierung** (siehe Abbildung 29)

Ein ebenfalls nicht klares Bild ergibt sich bei der Ausrichtung der Gebäude. Nach Westen und Süden orientierte Gebäude scheinen minimal schlechter als nach Osten gerichtete Gebäude. Allerdings lässt sich hieraus kein klarer Trend erkennen.

- **Baualtersklasse** (siehe Abbildung 25)

Auswertungen von Verbrauchsdaten beziehen sich oftmals auf die Baualtersklassen. Sanierte Gebäude werden dabei explizit ausgeschlossen, da die Abhängigkeiten zur ‚Grundsubstanz‘ im Vordergrund stehen. Zusammenhänge zwischen einer guten Ausgangsbau- substanz und den Verbräuchen wurden bereits untersucht und nachgewiesen.¹²⁸ Durch die Überrepräsentation der Gebäude mit den Baujahren 1958 bis 1968 (DE.05) und dem in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Beispiel der ‚Verzerrung‘ besagter Ausgangssubstanz durch die Dämmung, wird von dieser Unterscheidung Abstand genommen.

Ergebnis:

Ausgehend von den beschriebenen Erkenntnissen werden nun die relevantesten Parameter zusammengefasst. Die am Anfang des Kapitels beschriebenen Bedarfsklassen spiegeln bereits in gewissem Maße die Gebäudehülle und Anlagentechnik wieder:

→ **Effizienzklasse A:**

Zu- und Abluftanlage, vollständig/hochwertig sanierte Gebäudehülle

→ **Effizienzklasse C:**

freie Lüftung, vollständig gedämmte Gebäudehülle inkl. Wärmeschutzfenster

→ **Effizienzklasse D:**

Abluftanlage, vollständig (ohne Fenster) und teilweise gedämmte Gebäudehülle

Als weitere ausschlaggebende Bezugsmerkmale finden zudem die Gebäudegröße (S bis XXL) und die Wärmeerzeuger (B_C, TS, LT und HP, Bezeichnungen siehe Tabelle 14) bei

¹²⁸ z.B. in Michelsen & Müller-Michelsen, 2010.

der weiteren Interpretation Berücksichtigung. Wird sich nun nachfolgend auf ein spezifisches Gebäude bezogen, wird aus Gründen der Anonymisierung der Gebäude ein Kürzel angegeben, dass sich aus der Gebäudeklasse, dem Wärmeerzeuger und der Gebäudegröße zusammensetzt. Passiv- und Effizienzhäuser werden zusätzlich mit ‚Passiv‘ bzw. ‚KfW55‘ ausgeschrieben. Ein Gebäude mit der Kurzbezeichnung D.LT.XL ist demnach ein Gebäude in der Bedarfsklasse D, dem Wärmeerzeuger Niedertemperaturkessel und besitzt zwischen 22 und 40 Wohneinheiten.

5.4 Analyse der Mehrverbraucher

Neben der allgemeinen Merkmalsbestimmung über alle erhobenen Objekte, werden in diesem Kapitel nun detailliert auffallende Gebäude untersucht. Dabei können Auffälligkeiten und Abweichungen nur anhand des vorliegenden Datenmaterials gewonnen werden. In wie weit diese für den Mehrverbrauch ursächlich sind und die Lage vor Ort real widerspiegeln, bleibt ungeklärt. Die Analyse ist dabei qualitativer Natur und umfasst alle potentiellen Kenngrößen der energetische Qualität (Gebäudehülle, Anlagentechnik, Nutzer), eine quantitative Betrachtung der nutzerbedingten Abweichungen wird hingegen in Kapitel 7.2.3.1 vorgenommen.

Aus der Bezeichnung ‚Mehrverbraucher‘ lassen sich Gebäude ableiten, die über ihrem rechnerischen Bedarfswert liegen und damit über der Winkelhalbierenden aus Abbildung 4. Damit würden alle Gebäude aus der Effizienzklasse A als Mehrverbraucher deklariert werden. Deren prozentuale Mehrverbräuche gegenüber dem Bedarfswert bilden eine Spanne von +0,16 % bis +113 %. Absolut sind dies Mehrverbräuche von lediglich 0,06 kWh/(m²a) bis hin zu einer maximalen Abweichung von über 38 kWh/(m²a). Tabelle 18 stellt die Verbräuche, Bedarfswerte, absoluten und relativen Überhöhungen aller Klasse A-Gebäude dar. Alle Objekte verfügen über eine Zu- und Abluftanlage mit einer Wärmerückgewinnung von 80 %, zusätzlich wurden in allen Gebäuden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie installiert: Solarthermieranlagen zur Warmwasserbereitung (Solar WW), Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung (Solar WW+H) und Photovoltaik (PV).

Tabelle 18: Mehrverbraucher Effizienzklasse A¹²⁹

Kürzel	Bedarf	Verbrauch	absolute Abweichung	Überhöhung	Technik
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	%	
A.TS.L.Passiv	26,21	48,09	21,88	83,56	Solar WW
A.TS.L.Passiv	28,15	40,90	12,74	46,46	Solar WW
A.TS.XL.Passiv	26,27	40,87	14,60	55,40	Solar WW
A.TS.XL.KfW55	36,80	37,10	0,30	0,83	PV
A.TS.XL.Passiv	38,91	38,97	0,06	0,16	PV
A.B_C.XL.KfW55	28,43	66,66	38,23	134,50	Solar WW+H

Bei der direkten Gegenüberstellung der detaillierten Werte und Gebäudedaten aus dem Fragebogen der Klasse A-Gebäude wurden folgende Auffälligkeiten festgestellt:

¹²⁹ eigene Darstellung.

- Der höchste Mehrverbrauch wird von einem Gebäude mit Brennwertkessel und solarer Heizungsunterstützung verbucht, alle anderen sind mit Fernwärme versorgt. Vier der fünf fernwärmeversorgten Gebäude sind allerdings auch hochwertiger („dicker“) gedämmt als das Gebäude mit Kesselversorgung.
- Die beiden Gebäude mit den höchsten Bedarfswerten haben die geringsten Abweichungen.
- Bei vier Gebäuden ist eine Solaranlage installiert, bei Zweien findet eine Stromerzeugung durch Photovoltaik statt. Alle Gebäude mit Solarthermie verbuchen einen Mehrverbrauch von mindestens 45 %, wohingegen die PV-Gebäude nur geringe positive Werte ausweisen. Dies weist darauf hin, dass die zusätzliche Technik bei der Wärmeerzeugung für einen gewissen Mehrverbrauch ursächlich sein könnte.

Andererseits stellt sich auch die Frage, ob die Ursache nicht nur am tatsächlichen ‚Mehrverbrauch‘ selbst liegt, sondern auch inwiefern die angewendete Bedarfsrechnung (z.B. Anlagenkennwerte) diese Gebäude überhaupt realitätsnah abbilden kann.

Um die Einordnung als Mehrverbraucher etwas zu spezifizieren und über alle Klassen zu definieren, werden die Klassenstufen (A: $<50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, B: $50\text{-}90 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, C: $90\text{-}130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, D: $>130 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) auch auf die Verbrauchswerte angewendet. Die Definition der Mehrverbraucher lautet demnach: Gebäude, bei denen die Klasse des Energieverbrauchs die Klasse des Energiebedarfs übersteigt.

Die Aufteilung der Bedarfsklassen und die ‚neue‘ Aufteilung der Verbrauchsklassen sind zusammen mit den Klassenübergängen in Tabelle 19 dargestellt. Übersteigt die Verbrauchsklasse die Bedarfsklasse hat sich ein Gebäude ‚verbessert‘, überschreitet der Verbrauch allerdings die obere Klassengrenze hat sich das Objekt ‚verschlechtert‘.

Tabelle 19: Mehrverbraucher - Klassenübergänge¹³⁰

Klasse Bedarf	A		C				D		
Aufteilung	6		25				20		
Klasse Verbrauch	A	B	A	B	C	D	B	C	D
Aufteilung	5	1	1	10	11	3	1	14	5
Klassenübergänge	1		11		3		15		
	verschlechtert		verbessert		verschlechtert		verbessert		

Die Zahlen bestätigen den visuellen Eindruck aus den Diagrammen. In der Bedarfsklasse C sind 25 Gebäude, in der Verbrauchsklasse C jedoch nur noch 11. Weitere 11 sind in höhere Klassen ‚aufgestiegen‘, lediglich drei Gebäude rutschen noch eine Klasse ab. Diese drei Gebäude werden laut der hiesigen Definition nun als ‚Mehrverbraucher‘ angesehen. Ebenso ist dies für ein Gebäude der Bedarfsklasse A der Fall (Daten hier noch einmal aufgeführt). Bei den Gebäuden der Bedarfsklasse D (20 Gebäude) verbleiben in der Verbrauchsklasse D nur fünf, alle anderen verzeichnen geringere Verbräuche. Bei diesen fünf Gebäuden über-

¹³⁰ eigene Darstellung.

steigen nur drei den rechnerischen Bedarf und nicht in dem Maß, der eine zusätzliche Klasse über 170 kWh/(m²a) notwendig machen würde.

Tabelle 20: Mehrverbraucher¹³¹

Kürzel	Bedarf	Verbrauch	absolute Abweichung	Überhöhung
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	%
A.B_C.XL.KfW55	28,43	66,66	38,23	134,50
C.B_C.XL.	123,32	142,41	19,10	15,56
C.B_C.S. (1)	91,77	149,19	57,42	62,57
C.B_C.S. (2)	105,22	223,55	118,32	112,99

Aus den direkt gegenübergestellten Werten verbucht das Klasse A-Gebäude trotz dem deutlich geringsten Gesamtverbrauch die höchste prozentuale Überhöhung. Mögliche Ursachen, wie es nun zu diesen Verbrauchsspitzen der Erhebung kam, zeigt die Detailbetrachtung dieser vier Gebäude. Die Abbildungen entstammen den zugehörigen Wärmebedarfsausweisen bzw. Dokumentationen.

- A.B_C.XL.KfW55

Dieses Gebäude (Abbildung 10) wird als einziges der sechs A-Gebäude mit einem Brennwertkessel versorgt. Die Abrechnung liegt für das Jahr 2014 vor, die Sanierung wurde Mitte 2013 beendet. Oftmals zeigen sich v.a. im ersten Winter noch Einstellungsprobleme bei der Anlagentechnik bzw. nicht angepasstes Nutzerverhalten, welches zum Mehrverbrauch führen kann. Bei der Gegenüberstellung mit anderen Bedarfsklasse A-Gebäuden fallen vor allem die innenliegenden Sonnenschutzeinrichtungen ins Auge. Außenseitig sind keine Vorrichtungen installiert. Dies führt auch bei geschlossenen Jalousien und Vorhängen zur ungewollten Aufheizung der Räumlichkeiten, worauf oftmals mit dem Öffnen der Fenster reagiert wird. Die Solaranlage dient hier nicht nur zur Warmwasser, sondern auch zur Heizungsunterstützung (bei den anderen Gebäuden mit Solaranlage ist das nicht der Fall). Die Bewohner sind überwiegend im Rentenalter und ein Viertel nimmt staatliche Sozialleistungen in Anspruch. Beides sind Faktoren, die gegenüber dem Standardhaushalt einen erhöhten Aufenthalt in der Wohnung (und damit Beheizen und Warmwasserverbrauch) begünstigen.



Abbildung 10: Mehrverbraucher A.B_C.XL.KfW55

- C.B_C.XL

Der Mehrverbrauch des Gebäudes auf Abbildung 11 ist vergleichsweise gering. Bei genauerer Betrachtung ist dieses Objekt eines derjenigen, bei dem nur bei den Küchenfenstern ein Glasaustausch stattfand und ansonsten auf einen großflächigen Fensteraustausch verzichtet wurde. Die



Abbildung 11: Mehrverbraucher C.B_C.XL

¹³¹ eigene Darstellung.

Decke ist mit lediglich 8 cm gedämmt worden, sodass durch übermäßiges Heizverhalten der Bewohner im Dachgeschoss dieser Verlust bereits zum Tragen kommen könnte. Im Gebäude waren vor der Sanierung raumweise Einzelöfen installiert, oftmals wird dann bei Umstellung auf eine zentrale Versorgung ein Mehrverbrauch durch übermäßige Beheizung bzw. höhere Komfortansprüche festgestellt.¹³²

- C.B_C.S (1)

Bei diesem Gebäude sind lediglich die Außenwände und das Dach gedämmt, auch die Fenster weisen keinen Wärmeschutzstandard auf. Besonders auffallend ist allerdings die Anbausituation: Das kleine (,S')-Gebäude ist ganzflächig auf einer Seite an ein weit größeres Gebäude angebaut (siehe Abbildung 12), von dem der Sanierungsstand nicht bekannt ist. Es ergibt sich demnach eine Wärmebrücke, die sich über den kompletten angebauten Seitenrand zieht, wenn die Sanierung nicht mit dem Nachbargebäude abgestimmt wurde.



Abbildung 12: Mehrverbraucher C.B_C.S (1)

- C.B_C.S (2)

Der individuelle Nutzereinfluss dürfte auch bei diesem kleinen Gebäude mit nur sechs Wohneinheiten eine Rolle spielen. Desweiteren konnte dokumentiert werden, dass auch nach der Sanierung eine ineffiziente Einrohrheizung (Normalfall: Zweirohrheizung) erhalten blieb. Da die Temperatur von Heizkörper zu Heizkörper absinkt, sind hohe Vorlauftemperaturen und hohe Pumpendrucke erforderlich.¹³³ Wie auf Abbildung 13 zu erkennen, bestehen die Außenwände im Treppenhaus aus energetisch ineffizienten Glasbausteinen, die das Auskühlen des Treppenhauses weiter verstärken. Für den Fall, dass die Heizungsrohre bei diesem Gebäude nahe am Treppenhausbereich angeordnet sind, würden diese massive Wärmeverluste verursachen. Zusätzlich geht aus den Unterlagen hervor, dass lediglich fünf Wohnungen von einem Brennwertkessel versorgt werden, die sechste Wohnung jedoch von einem Niedertemperaturkessel. In welcher Weise und ob überhaupt eine Anpassung der beiden Systeme aufeinander stattfand, bleibt unklar. Auch sind dadurch Fehler und Doppelabrechnungen bei der Abrechnungserstellung möglich. Da eine solche Etagenheizung bei aufwendigeren Sanierungen oftmals durch eine Zentralheizung ersetzt wird, könnte auch eine veraltete bzw. nicht aktualisierte Datenbank für diese Ungereimtheit ursächlich sein



Abbildung 13: Mehrverbraucher C.B_C.S (2)

Allein durch die qualitative Betrachtung dieser vier Gebäude zeigt sich die Spannbreite der unterschiedlichen Fehlerquellen. Von schlecht ausgeführten Dämmungen der Gebäudehül-

¹³² bspw. in Schröder, Engler, Boegelein, & Ohlwärter, 2010, S. 1.

¹³³ vgl. Albers, 2015a, S. 751.

le, über die Anlagentechnik bis zum Nutzerverhalten kann jede zu deutlichen Diskrepanzen zum Bedarfswert führen. Dabei hat im vorliegenden Fall veraltete oder unausgereifte Benutzung der Anlagentechnik wohl den größten Einfluss auf den auftretenden Mehrverbrauch. Sowohl die Anlagenoptimierungen als auch die Schulung der Bewohner im Umgang mit der neuen Technik spielen in diesem Kontext eine entscheidende Rolle und sollten aus diesem Grund durchgeführt und dokumentiert werden (->siehe Tabelle 42: Fragebogen ‚Zusatzdaten‘ (Arbeitsblatt 4)).

6 Entwicklung von Verbrauchsbenchmarks

Die Analyse der erhobenen Gebäude gab einen breiten Eindruck von Abhängigkeiten, Einflussgrößen und Fehlerquellen. Sie diente der Findung einer geeigneten Skala bzw. Einteilungsgröße, die für eine Zielvorgabe im Rahmen einer Effizienzbeurteilung geeignet erscheint. Es erwies sich in dieser Arbeit als sinnvoll, die Bedarfsklassen als Bezugsgröße festzuschreiben, da diese die meisten Gebäudespezifika- und Unterschiede berücksichtigen und ihnen dementsprechend am meisten Aussagekraft über das Gebäude innewohnt. Der Schritt wird begründet durch die Definition des Benchmarking:

Es sollen Prozesse und Methoden mit dem Ziel vergleichbar gemacht werden, „Unterschiede und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen sowie wettbewerbsorientierte Zielvorgaben ableiten zu können. Mit Benchmark wird der in diesem Prozess gewonnene Vergleichspunkt bezeichnet.“¹³⁴

Da sich bei weiteren Unterscheidungen nach Gebäudemerkmalen der zugehörige Stichprobenumfang verringert, kann diesen weniger Vergleichbarkeit zugestanden werden. Aus diesem Grund werden für die Merkmale ‚Wärmeerzeuger‘ und ‚Gebäudegröße‘ Auswertungen von Verbrauchsstatistiken zur Hilfe genommen. Diese bilden Vergleichswerte ab, die derzeit im Bestand in großen Anzahlen erreicht werden. Dieses Kapitel bezieht sich auf die absolute Darstellung der Werte, wohingegen bei der Verbrauchswertabschätzung die relativen Abweichungen Betrachtung finden.

6.1 Benchmarks nach Bedarfsklassen

Nach Feststellung der Eignung werden die Bedarfsklassen genauer untersucht. Aufgeschlüsselt lassen sich neben den Mittelwerten und Medianen auch Quantile bilden, sowie die mittleren Abweichungen (prozentual/absolut) und Spannen darstellen. Eine detaillierte Übersicht über alle relevanten Verteilungsmerkmale der Klassen zeigt Tabelle 21.¹³⁵

Die deutlichen Abweichungen der Mittelwerte und dem Median in Klasse A und C weisen auf größere „Ausreißer“ hin, die sich in Klasse A durch ein Gebäude mit einem Maximalverbrauch von 67 kWh/(m²a) äußerst, während sich in Klasse C ein Gebäude mit über 223 kWh/(m²a) deutlich nach oben absetzt (siehe Kapitel 5.4 Analyse der Mehrverbraucher). Betrachtet man die Interquartilsabstände (Abstand zwischen 25 % und 75 % Quantil) und damit die ‚mittleren‘ 50 %, scheinen diese in der kleinsten Klasse A mit 6 Gebäuden auch die geringsten Schwankungen mit lediglich 7 kWh/(m²a) zu haben, welches auf die absolut geringeren Werte zurückzuführen ist. In der Effizienzklasse C bewegen sich diese 50 % zwischen 83 kWh/(m²a) und 110 kWh/(m²a), bei Klasse D nähern sich die Werte bis auf eine Differenz auf 19 kWh/(m²a) wieder an. Der Median des Verbrauchs in Klasse A liegt bei ca. 41 kWh/(m²a), bei Klasse C bei 91 kWh/(m²a) und in Klasse D werden 123 kWh/(m²a) festgestellt.

¹³⁴ vgl. Riegler, 2006, S. 678 f.

¹³⁵ Die Inhalte aus Tabelle 16 wurden dafür um die Darstellung der Quantile und Spannenbreiten erweitert.

Tabelle 21: Detail-Übersicht der Effizienzklassen¹³⁶

Klasse		A (<50)	C (90-130)	D (> 130)
Anzahl		6	25	20
		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)
Bedarf	Mittelwert	30,80	111,95	147,79
Verbrauch	Mittelwert	45,43	98,82	124,42
	Median	40,89	90,99	123,06
	25%-Quantil	39,44	82,81	113,39
	75%-Quantil	46,29	109,50	131,60
Abweichung	relativ [%]	53,48	-11,15	-15,69
	absolut [kWh/(m²a)]	14,64	-13,13	-23,37
Spanne Verbrauchswerte		37,10 – 66,66	48,87 – 223,55	86,23 – 159,41

Da der Median lediglich die ‚Spitze‘ der Verteilung darstellt, der Benchmark jedoch ein ambitionierteres Ziel repräsentieren soll, wird das 25 %-Quantil als Richtwert festgelegt. Er repräsentiert damit die Schwelle zu den besten 25 % der Vergleichsgebäude. Diese Vorgehensweise entspricht der in der VDI 3807 Blatt 2 angewendeten Definition eines Richtwertes: „Anzustrebender Wert bei der Durchführung von Energiesparmaßnahmen.“¹³⁷

In Tabelle 22 sind nun alle relevanten Werte für eine Einordnung und Beurteilung durchgeführter Effizienzmaßnahmen im Vergleich mit dem erhobenen Gebäudedatensatz aufgeführt. Ausgehend von der Höhe des Bedarfswertes erfolgt die Einteilung in eine Effizienzklasse, für diese dann ein zugehöriger Benchmark (Richtwert) ausgelesen werden kann. Ebenfalls dargestellt sind die charakteristischen Gebäudemerkmale, die den Klassen in Kombination mit der Analyse der Gebäudemerkmale aus Kapitel 5.3 zugeteilt werden konnten. Zusätzlich ist der Median aufgeführt, der die 50%-Grenze flankiert.

Tabelle 22: Ergebnis Benchmarks für Effizienzklassen¹³⁸

Effizienz- klasse	Bedarfswert	Benchmark Verbrauch	Median	charakteristische Gebäudemerkmale
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	
A	< 50	39	41	Zu- und Abluftanlage, vollständig/ hochwertig sanierte Gebäudehülle
C	90 - 130	83	91	freie Lüftung, vollständig gedämmte Gebäudehülle
D	> 130	113	123	Abluftanlage, vollständig (ohne Fenster) und teilweise gedämmte Gebäudehülle

¹³⁶ eigene Darstellung.

¹³⁷ VDI 3807 Blatt 2, 2014, S. 63.

¹³⁸ eigene Darstellung; Abbildungen entstammen den zugehörigen Wärmebedarfsausweisen bzw. Dokumentationen.

Ansichten:**Effizienzklasse A**

Abbildung 14: Gebäude der Effizienzklasse A

Effizienzklasse C

Abbildung 15: Gebäude der Effizienzklasse C

Effizienzklasse D

Abbildung 16: Gebäude der Effizienzklasse D

alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser

Für die Klasse A wird ein Richtwert von 39 kWh/(m²a), für Klasse C ein Richtwert von 83 kWh/(m²a) und für Klasse D 113 kWh/(m²a) festgeschrieben. Der Median liegt in Klasse A mit 41 kWh/(m²a) nur knapp dahinter. Ein energetisch hochwertiges Gebäude, wie die Passiv- und KfW-Effizienzhäuser in der Erhebung, sollte demnach einen Energieverbrauch von 41 kWh/(m²a) nicht überschreiten. Für das standardmäßig vollsanierte Gebäude mit Wärmeschutzfenstern liegt gemäß den betrachteten Objekten der Verbrauch maximal bei 91 kWh/(m²a). Die Lüftungsintensität und –Dauer wird dabei nur von Bewohnern gesteuert (freie Lüftung). Bei Gebäuden mit mäßig sanierter Gebäudehülle und ohne Wärmeschutzverglasung, gilt 123 kWh/(m²a) als Schwelle zu den ‚ineffizienteren‘ 50 %. Auf eine effiziente Auslegung der Abluftanlage sollte hier besonderen Wert gelegt werden. Für die jeweiligen Effizienzklassen sind in der Tabelle ebenfalls die Ansichten repräsentativer Beispielgebäude (Abbildung 14 bis Abbildung 16) enthalten. Die Abbildungen entstammen den zugehörigen Bedarfsausweisen bzw. den Dokumentationen.

6.2 Verbrauchswerte nach Gebäudemerkmalen

Um die Benchmarks weiter zu spezifizieren, werden die erhobenen Gebäude gemäß den prägenden Gebäudemerkmalen ‚Gebäudegröße‘ und ‚Wärmeerzeuger‘ eingeteilt. Diese Einteilung erschien einerseits auf Grundlage der Diagrammdarstellungen dieser Merkmale (Abbildung 7 und Abbildung 8) und andererseits durch die entsprechend ähnlichen Untergliederungen in den Verbrauchsstatistiken plausibel. Die Vergleichbarkeit der Werte wird damit erleichtert. Tabelle 23 zeigt die Verteilungen und Tabelle 24 die Verbräuche der erhobenen Gebäude in einer Kreuztabelle. In dieser werden die Objekte nach Gebäudegröße, Wärmeerzeuger und Bedarfsklasse differenziert dargestellt. In Kapitel ‚5.1 Zusammensetzung der Ausgangsdaten‘ wurde darüber bereits eine erste Übersicht gegeben, wie sich die 51 Gebäude über diese Gebäudemerkmale anordnen.

Tabelle 23: Kreuztabelle Gebäudemerkmale¹³⁹

		Energiebedarfsklassen						
Größe	Erzeuger	A		C			D	
		TS	B_C	TS	B_C	WP	TS	B_C LT
S					3		1	1 1
M					1			5 4
L		2		5	1	1		2 1
XL		3	1	7	2			4 1
XXL				3	2			

Die Objekte verteilen sich weitläufig über die möglichen Kombinationen. Mit sieben Gebäuden stellt die Effizienzklasse C, in der Größe XL und Fernwärmeversorgung (B.TS.XL) die am häufigsten vertretene Gruppe dar. Es wird bestätigt, dass die Fernwärmeversorgung v.a. bei größeren Gebäuden Anwendung findet.¹⁴⁰ Bei kleineren Gebäuden wird vorwiegend auf Kesselbeheizung zurückgegriffen. Der Trend zu geringeren Verbräuchen bei wachsender Gebäudegröße lässt sich hier nur direkt für die Effizienzklasse A und C mit Fernwärmeversorgung feststellen. Tabelle 24 zeigt die mediale Verteilung der charakteristischen Verbräuche gemäß den Gebäudemerkmalen. In den mit *gekennzeichneten Zellen sind die Vielverbraucher aus Kapitel 5.4 enthalten.

Tabelle 24: Kreuztabelle Verbräuche nach Gebäudemerkmale¹⁴¹

	A		C			D		
	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)			kWh/(m²a)		
	TS	B_C	TS	B_C	WP	TS	B_C	LT
S				149,19*		86,23	122,66	107,87
M				84,20			125,34	149,06
L	44,50		110,38	90,79	83,16		110,57	125,22
XL	38,97	66,66*	90,99	125,96*			120,98	105,78
XXL			67,11	85,76				

Die höchsten Verbrauchswerte werden (bei Einbeziehung der Vielverbraucher) in der vorliegenden Erhebung von kleinen Gebäuden mit Brennwertkesseln und mittelmäßig großen Gebäuden mit Niedertemperaturkessel erreicht. Die VDI 3807 schreibt einen Heizzielwert von 75 kWh/(m²a) aus, mit Berücksichtigung eines Warmwasseraufschlags von 32 kWh/(m²a), würde die größte Merkmalsgruppe (B.TS.XL) als repräsentativste Vergleichsgruppe die Zielwerte einhalten.¹⁴²

Durch die bereits erwähnte weitläufige Verteilung und die dünne Belegung der Zellen, erscheinen die Werte für weiterführende Vergleiche weniger geeignet. Aus diesem Grund wird für die Bildung der Vergleichswerte der Gebäudemerkmale auf umfangreichere Statistiken

¹³⁹ eigene Darstellung.

¹⁴⁰ vgl. Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 395 oder Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 22.

¹⁴¹ eigene Darstellung.

¹⁴² vgl. VDI 3807 Blatt 2, 2014, S. 9.

im nachfolgenden Kapitel zurückgegriffen. Diese spiegeln die im Bestand erreichten Verbräuche von mehreren hunderttausenden Haushalten wieder.

6.3 Vergleichswerte nach Gebäudemerkmale (Verbrauchsstatistik)

Als Erweiterung der Benchmarks über die Effizienzklassen werden nun alle Werte aus den umfangreichen und repräsentativen Verbrauchsstatistiken (Kapitel 2.5) entsprechend der im vorigen Kapitel angewendeten Kreuztabelle aufbereitet. Damit kann, ausgehend von den Merkmalen ‚Gebäudegröße‘ und ‚Wärmeerzeuger‘, ebenfalls ein in der Breite realisierter Verbrauch-Vergleichswert ausgelesen werden. Die Statistiken von Techem, ista-IWH, Brunata-Metrona und die ‚Verbrauchskennwerte für Wohngebäude‘ aus einer BMVBS-Publikation wurden hierfür als Grundlage verwendet und sind in nachfolgender Übersicht (Tabelle 25) abgebildet. Alle aufbereiteten Statistiken können in ‚Anhang F: Vergleichswerte Verbrauchsstatistiken‘ bzw. den Tabelle 45 bis Tabelle 48 nachgeschlagen werden. Die Sanierungsstände unterscheiden sich dabei in allgemein ‚(voll)sanierte‘ Gebäude oder nach dem Anforderungsniveau der jeweils gültigen Wärmeschutzverordnung.

Tabelle 25: Kreuztabelle Verbrauchskennwerte aus Verbrauchsstatistik¹⁴³

	Techem				ista-IWH	Brunata-Metrona		BMVBS-Publikation	
	kWh/(m²a)				kWh/(m²a)	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	
Sanierungsstand	Mittelwert EnEV 2002/EnEV2009		WSVO 1995-2001		vollsanisiert (1949 bis aktuell)	saniert		Neubau 95/ komplett saniert	
	TS	B_C	TS	B_C		TS	B_C	TS	B_C
S	93,75	103,31	111,5	133,08	170,94	105,50	142,50	121,44	142,56
M	93,25	106,23	106	132,69	150,48	100,00	142,50	105,6	129,36
L	86,50	107,49	106	133,66	134,31	100,00	142,50	105,6	129,36
XL	86,50	107,49	106	133,66	118,14	101,50	132,75	105,6	129,36
XXL	86,50	107,49	106	133,66	118,14	101,50	132,75	106,92	125,4
Bemerkung:	S = 5-7WE, M = 8-16 WE, ab L = 16 WE				Median 1949 bis aktuell (ab 1995)	S = 400m² M/L = 1000m² ab XL = 2000m²		S = 200-500m² M/L/XL = 500-2000m² XXL = >2000m²	

alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser

Es ergeben sich weite Spannen für die einzelnen Bereiche. Gingen die Gebäudegrößen über die in der jeweiligen Statistik aufgeführten Größen hinaus, wurden diese für die größten Gebäudeklasse übernommen. Da die Werte mit wachsender Größe oftmals kleiner werden, scheint diese Möglichkeit als konservative Annahme zulässig. Die Techem-Statistik bescheinigt dabei als einzige Verbrauchskennwerte um 90 kWh/(m²a) für fernwärmeversorgte Gebäude, dabei sind allerdings die Referenzwerte aus Gebäuden mit EnEV-Standard 2002 und Neuer berücksichtigt. Beim mittleren Fernwärme-Gebäude belaufen sich die Werte auf ca. 105 kWh/(m²a), bei den Brennwertkesseln bzw. gas- und ölfersorgten Gebäuden

¹⁴³ eigene Darstellung; aufbereitete Originaldaten siehe Tabelle 45 bis Tabelle 48.

sind Verbrauchswerte von ca. 130 kWh/(m²a) als gängig anzusehen. Die Installation der Fernwärme bei v.a. großen und gut gedämmten Gebäuden dürfte für diese Differenz wiederum ursächlich sein. Unberücksichtigte Netzverluste beim Transport und der Übergabe der Fernwärme im Gebäude dürfen zusätzlich nicht vernachlässigt werden.

Bei der nachfolgenden Aggregation all dieser Verbrauchswerte gehen Informationen über den genauen Sanierungsstand bzw. die Sanierungsunterschiede verloren, welches die Vergleichbarkeit deutlich erschwert. Die besten Werte werden nachfolgend als Vergleichs- bzw. Referenzwert festgestellt und der Median über alle anderen Vergleichsgruppen gebildet. Das Ergebnis sind die aus der Auswertung aus den Verbrauchsstatistiken hervorgegangenen Vergleichswerte nach Gebäudegröße und Wärmeherzeugung in Tabelle 26.

Tabelle 26: Ergebnis Referenzwerte aus Verbrauchsstatistik¹⁴⁴

	Referenzwert		Median	
	kWh/(m ² a)		kWh/(m ² a)	
	TS	B_C	TS	B_C
S	93,75	103,31	116,47	149,66
M	93,25	106,23	105,80	137,60
L	86,50	107,49	105,80	133,99
XL	86,50	107,49	105,80	131,06
XXL	86,50	107,49	106,46	129,08

alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser

Für kleine (Größe S und M) Gebäude ergeben sich für die Fernwärme in den Statistiken Referenzwerte von ca. 94 kWh/(m²a) bzw. bei Kesselbeheizung von 103 bis 107 kWh/(m²a). Größere Gebäude sollten dagegen ambitionierte Verbrauchswerte anstreben (87 kWh/(m²a) bzw. 107 kWh/(m²a)). Entgegen der anderen Literaturstellen nehmen hier die Kennwerte bei der Kesselversorgung mit steigender Gebäudegröße minimal zu (von 103 auf 107 kWh/(m²a)), allerdings beziehen sich diese Kennwerte nur auf die Techem-Erhebung. Effiziente Sanierungsmaßnahmen scheinen hier in kleinen Gebäuden wie auch bei größeren Gebäudebeständen gesichert. Die Verbrauchswerte der Erhebung (Effizienzklasse C und D) ordnen sich bei der Gaswärmeerzeugung zwischen Referenz- und Medianwert ein. Die Fernwärmeerzeugung ‚springt‘ hingegen über und unter den Richtwert.

Der in Kapitel 6.1 definierte Benchmark von 83 kWh/(m²a) für Gebäude der Klasse C weicht nur geringfügig von dem Referenzwert aus Tabelle 26 ab und scheint im Bestand bisher nur für große und ambitionierte Sanierungen realistisch. Der Benchmark der Effizienzklasse D von 113 kWh/(m²a) scheint dagegen für Kessel und Fernwärme einen anzustrebenden Wert darstellen zu können. Die hohen Mediane in Tabelle 26 repräsentieren die derzeitigen Verbräuche der Kesselbeheizung, die allerdings deutlich über den ambitionierten und erstrebenswerten Zielen der Energieeinsparverordnung liegen.¹⁴⁵ Die Statistiken verifizieren die Höhe der angesetzten Benchmarks und bestätigen deren Realisierbarkeit im Bestand.

¹⁴⁴ eigene Darstellung.

¹⁴⁵ vgl. Michelsen & Rosenschon, 2012, S. 353.

7 Effizienzbeurteilung durch Abschätzung des Energieverbrauchs

Nach Definition, Bezifferung und Verifizierung der Benchmarks gilt es nun die Möglichkeiten und Potentiale effizienzsteigernder Maßnahmen abzuschätzen. Der Verbrauchswert weicht in bestehenden Mehrfamilienhäusern oftmals um ca. 30 % vom berechneten Bedarf ab, bei der vorliegenden Erhebung hat sich diese Differenz auf -13 % (Median) vermindert.¹⁴⁶ Die Effizienzbeurteilung ist hier auf zweierlei Wegen möglich: Einerseits kann durch die direkte Eingruppierung des Verbrauchswertes nach der Sanierungsmaßnahme im Vergleich mit ähnlich sanierten Gebäuden eine Abschätzung der Effizienzmaßnahme ermöglicht werden (Kapitel 7.1). Andererseits dient der Energiebedarf als Ausgangspunkt. Für diesen sollen durch Festlegung der merkmalspezifischen Minder- und Mehrverbräuche die individuellen Verbesserungsmöglichkeiten und Stellschrauben aufgezeigt werden. Mittels Anpassungsfaktor und nutzerbezogener Fehlerbetrachtung lässt sich ein Bereich abschätzen, in dem sich der potentielle künftige Energieverbrauch bewegt. Die abschließende Zusammenfassung der weiteren Einflussfaktoren rahmen die Ergebnisse ab. Sie weisen auf die Vielschichtigkeit und Defizite der Parameter hin, mit denen nicht nur bei der Bedarfsrechnung, sondern auch bei den direkten Maßnahmen vor Ort bisher oftmals nicht aufmerksam genug umgegangen wird.

7.1 Ausgangspunkt Verbrauchswert: Energiekennzahlverteilung (Literatur)

Neben den Ausführungen zur Abschätzung der Verbrauchswerte allein auf Basis von Bedarfswerten im Vorfeld der Maßnahme, folgt nun die Einschätzung der Energieeffizienz auf Grundlage der Verbrauchswerte nach einer effizienzsteigernden Sanierung. In diesem Kapitel stehen die Vorstellung des Verfahrens und die daraus ermittelbaren Potentialabschätzungen im Vordergrund, die Werte selbst wurden aufbereitet und waren Bestandteil der Referenzwert-Ermittlung aus den Verbrauchstatistiken.

Die abgebildeten Kennzahlverteilungen stammen von der Brunata-Metrone-Gruppe. Für die in Kapitel 2.5.1 beschriebene Clustereinteilung (abhängig von Sanierungsstand, Energieträger und Gebäudegröße) wurden mathematisch Energiekennzahlverteilungen über die Wohnfläche errechnet, wodurch sich für jedes Cluster eine vergleichende Energiekennzahl ermittelt ließ. Mittels Häufigkeitsverteilung (Quantilverteilung) für jeden Sanierungsstandard lässt sich dann die ‚Position‘ des eigenen Energiekennwertes einschätzen. In Abbildung 17 ist dies beispielhaft für ein Gebäude von 2.000 m² und Fernwärmeversorgung dargestellt. Die grüne Linie spiegelt dabei die Kennwerte für einen Neubau, die olive Linie die sanierten Gebäude wieder. Der Median (50 %-Quantil) liegt im dargestellten Cluster bei einem Energiekennwert von ca. 75 kWh/(m²a), bei gas- und ölbeheizten Gebäuden hingegen steigt dieser über 100 kWh/(m²a).¹⁴⁷ Die Ergebnisse dieser 50 %-Quantile gingen dann in die merkmalspezifische Auswertung (Kapitel 6.3) mit ein.

¹⁴⁶ vgl. Sunikka-Blank & Galvin, 2012, S. 270.

¹⁴⁷ Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 399.

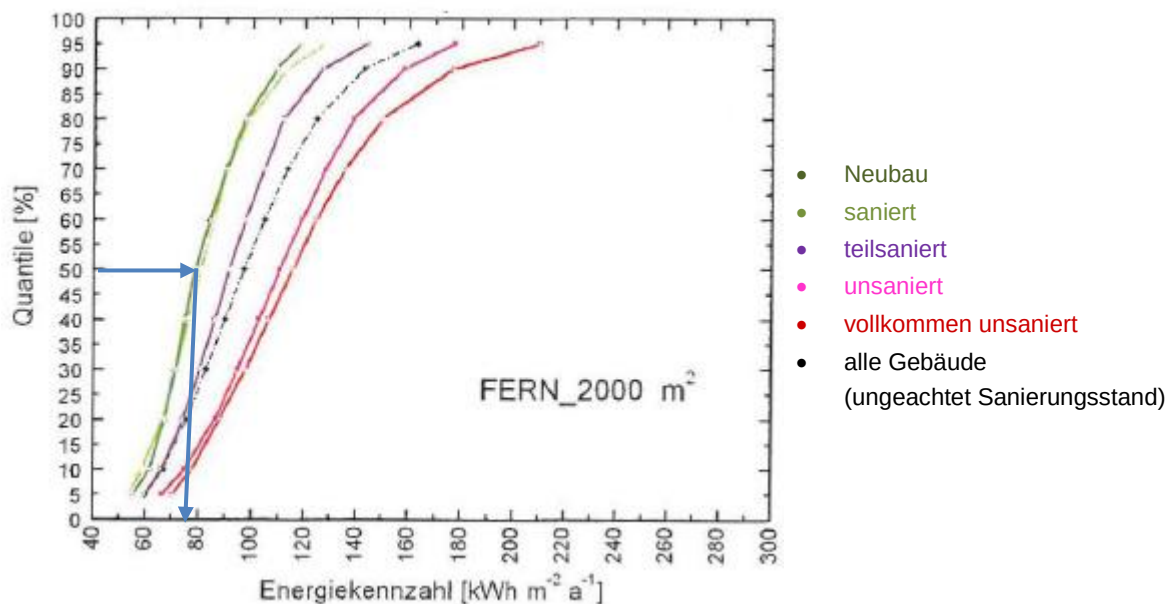


Abbildung 17: Kennzahlverteilung (Quantile 5 bis 95%) für fernwärmebeheizte Gebäude mit 2.000m² Wohnfläche¹⁴⁸

Abhängig von den Verbrauchswerten im unsanierten Zustand eines Objekts können zudem mittels Kennzahlverteilungen auch die Sanierungspotentiale realistischer abgeschätzt werden.¹⁴⁹ Dieser Ansatz wurde bei den ‚Universellen Energiekennzahlen‘ des Dienstleisters angewendet und ist in Abbildung 18 für ein 500m² großes, gasbeheiztes Gebäude dargestellt. Je nachdem, wie hoch die Energiekennzahl vor der Sanierung (im Beispiel 200 kWh/(m²a) bzw. 135 kWh/(m²a), rosa Punkt) ist, ergeben sich zum Sanierungszielwert, der den Median (50% Quantil) der sanierten Gebäude in diesem Cluster (gasbeheizt, 500m², saniert) darstellt, verschieden große Einsparpotentiale (80 kWh/(m²a) <-> 20 kWh/(m²a)).

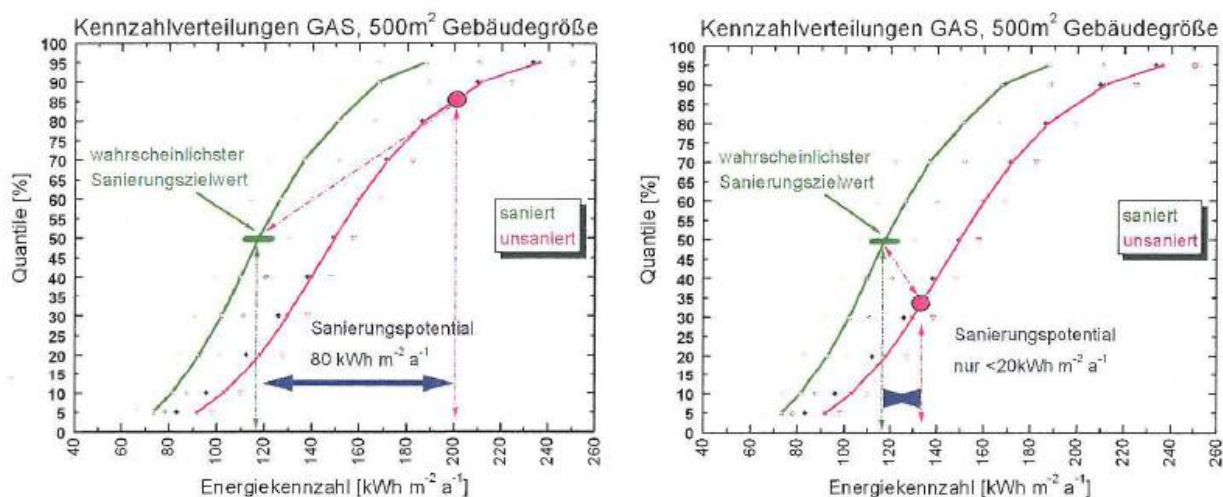


Abbildung 18: Sanierungspotential unsaniert/saniert eines gasbeheizten Gebäudes (500m²)¹⁵⁰

¹⁴⁸ vgl. Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 399.

¹⁴⁹ vgl. Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 399 f.

¹⁵⁰ Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 400.

7.2 Ausgangspunkt Energiebedarf

Eine valide Verbrauchsabschätzung allein aus dem Bedarfswert bereits im Vorfeld einer Maßnahme stellt die wünschenswerteste Option dar. Aus der Feststellung, dass ein Großteil der erhobenen Gebäude mittels typischen prozentualen Minder- und Mehrverbräuchen geeignet abgebildet werden konnte, wurden die Verhältnisse von Verbrauchs- und Bedarfswert betrachtet, die unter Berücksichtigung entsprechender nutzerbedingter Fehlerspannen geeignete Bereiche für den künftigen Verbrauch aufzeigen.

7.2.1 Erhebungsspezifische Minder- und Mehrverbräuche

Über die Hauptgebäudemerkmale, wie sie schon in den Kreuztabellen Berücksichtigung fanden, werden nun in Tabelle 27 die durchschnittlichen mittleren Abweichungen zwischen Bedarfs- und Verbrauchswert dargestellt. Zur erneuten Übersicht sind alle Erklärungen ebenfalls dargestellt. Auffallend ist dabei der positive Wert bei den Brennwertkesseln. Da jedoch alle Mehrverbraucher aus Kapitel 5.4 brennwertkesselversorgt waren, sind diese durch deren hohe Verbräuche beeinflusst. Da lediglich ein Gebäude mit Holz-Pellets versorgt wird, hat dieser Wert wenig vergleichende Aussagekraft. Der ebenfalls positive Wert bei kleinen Gebäuden bestätigt erneut deren Tendenz zum Mehrverbrauch.

Tabelle 27: Merkmalsspezifische Minder- und Mehrverbräuche¹⁵¹

Klasse	Gliederung	Erklärung	durchschnittliche Abweichung [%]
Effizienzklasse:	A	< 50 kWh/(m²a)	53,48
	C	90-130 kWh/(m²a)	-11,15
	D	> 130 kWh/(m²a)	-15,69
Wärmeerzeuger:	TS	Fernwärme	-8,56
	B_C	Brennwertkessel	1,72
	LT	Niedertemperaturkessel	-13,84
	WP	Holz-Pellets	-32,85
Gebäudegröße:	S	3-6 WE	8,68
	M	7-12 WE	-9,74
	L	13-21 WE	-3,05
	XL	22-40 WE	-2,59
	XXL	>40 WE	-28,63

Diese merkmalspezifischen Abweichungen zeigen nun, ob ein Verbrauch überhöht oder besser als derjenige der Erhebungsgebäude ist. Bei einem Gebäude der Größe S würde damit ein Verbrauchswert, der so hoch ist wie der rechnerische Bedarf, bereits auf eine effiziente Sanierung hindeuten. Liegen die Verbräuche eines Gebäudes mit Niedertemperatur-

¹⁵¹ eigene Darstellung.

kessel nur um ca. 5 % unter dem rechnerischen Wert, zeigt dies noch ein gewisses Sanierungs- bzw. Effizienzpotential an.

7.2.2 Verfahren zur Verbrauchswertabschätzung

Um die Effizienz im Vorfeld der Sanierung bestimmen zu können, müsste der Verbrauchswert aus dem Bedarfswert abgeschätzt werden können bzw. das Bedarfsverfahren so angepasst werden, dass sich eine realistische Abschätzung des späteren Verbrauchs ablesen ließe. Dazu werden hier einerseits die prozentualen Abweichungen der Gebäudemerkmale herangezogen, andererseits die Überlegungen bzgl. eines Anpassungsfaktors überprüft.

7.2.2.1 Verfahren der %-Abweichung

Aus den merkmalspezifischen prozentualen Minder- und Mehrverbräuchen aus Tabelle 27 lassen sich nun Verbrauchswerte abschätzen, die zu einem auffallend befriedigenden Ergebnis führen. Wird der Bedarfswert mit der prozentualen positiven oder negativen Abweichung multipliziert, kann daraus ein Verbrauchswert ermittelt werden (siehe Abbildung 19).

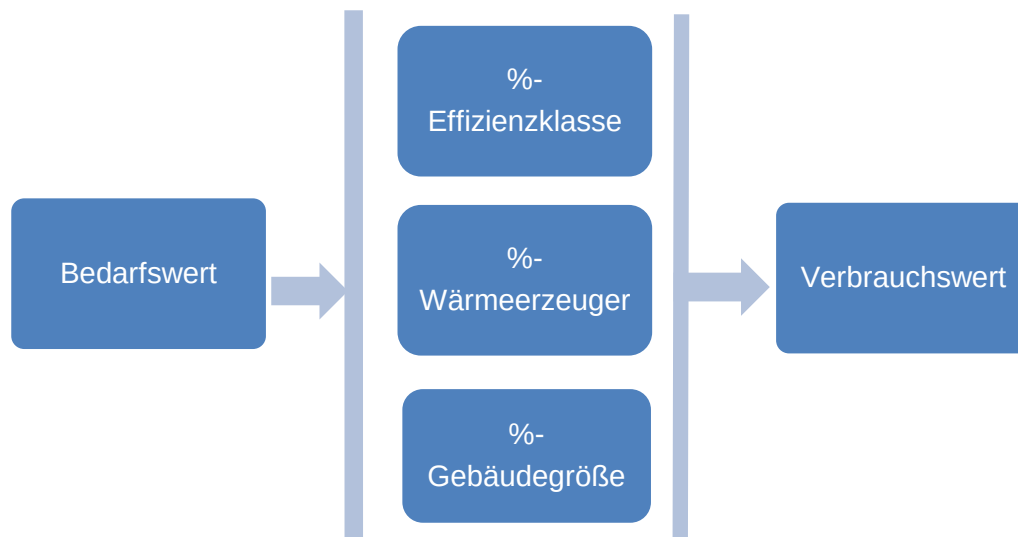


Abbildung 19: Verfahren Verbrauchswertabschätzung¹⁵²

Betrachtet man die daraus resultierenden Verbräuche weichen nur noch 14 von **51** Gebäuden vom Bedarfswert um mehr als +/-15 % ab. Es können demnach **38** Gebäude mit der prozentualen Abweichung über Klasse, Erzeuger oder Gebäudegröße in besagter Spanne abgebildet werden. Durch die Feststellung der typischen Zusammenhänge mit den durchschnittlichen Abweichungen lassen sich weitere Verhältnismäßigkeiten vermuten, die durch das schlichte Verhältnis von Verbrauchs- und Bedarfswert erklärt werden können. Auf ähnliche Ergebnisse wies bereits Abbildung 9 hin.

7.2.2.2 Anpassungsfaktor

Ähnlich gute Ergebnisse liefert der in einem Mietspiegel-Projekt formulierte Adaptionfaktor bzw. die Funktionsgleichung, die auch in der aktuellen Auflage der Deutschen Wohngebäudetypologie Anwendung fand. Die Auswertungsgrundlage fußte auf ein Projekt, welches die

¹⁵² eigene Darstellung.

mittels KVEP bestimmte wärmetechnische Beschaffenheit auf ihre Eignung für ökologische Mietspiegel überprüfte.¹⁵³ Dieser vielversprechende Ansatz ist Teil nachfolgender Projekte und soll hier nun kurz vorgestellt und vergleichend angewendet werden.

Im Rahmen des Mietspiegel-Projekts wurden die Bedarfskennwerte und Verbrauchskennwerte für die Beheizung gegenübergestellt, dabei wurde auch zwischen verschiedenen Wärmeerzeugern und Gebäudegrößen unterschieden. Bei den betrachteten Gebäudeobjekten war der Sanierungsstand bzw. die ausgeführten Maßnahmen hingegen nicht Thema der Erhebung. Das Ergebnis, der für diesen Vergleich repräsentativsten Gruppe der Mehrfamilienhäuser mit mind. 8 Wohneinheiten, unabhängig der Wärmeerzeugungssystem (Brennstoff und Fernwärme), zeigt Abbildung 20. Zusätzlich sind in den roten Kreisen diejenigen Bereiche markiert, in denen sich die in dieser Arbeit erhobenen Objekte einordnen lassen.

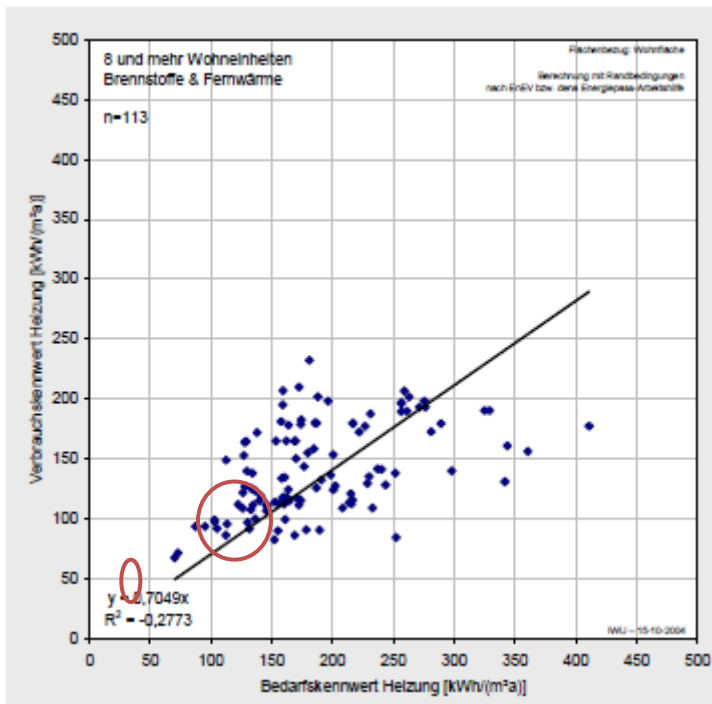


Abbildung 20: Verbrauchs-/Bedarfskennwerte Heizung aus Mietspiegel-Projekt¹⁵⁴

Die Modellprojekte (Bedarfsklasse A, unterer Kreis) konnten im Mietspiegel-Projekt bisher nicht abgebildet werden, die restlichen Gebäude (Bedarfsklasse C und D) ordnen sich deutlich im unteren Bereich der Abbildung ein. Ausgehend von diesen und weiteren Auswertungen über andere Gebäudegrößen wurde ein Anpassungsfaktor (Adaptionsfaktor f_{adapt}) entwickelt. Dieser ist als rosafarbene Linie in Abbildung 21 dargestellt bzw. in nachstehender Formel wiedergegeben.¹⁵⁵

$$f_{adapt} = -0,2 + \frac{1,3}{1 + \frac{Bedarfswert_{Heizung}}{500}}$$

¹⁵³ vgl. Knissel, et al., 2006.

¹⁵⁴ Knissel, et al., 2006, S. 8.

¹⁵⁵ Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 78.

Die Funktionsgleichung wird als „vorläufiger Ansatz“ bezeichnet, der noch weiteren Untersuchungen bedarf.¹⁵⁶ Mit Hilfe dieses Adaptionfaktors lagen in der vorliegenden Erhebung die realen Energieverbräuche und die zugehörigen Bedarfswerte bei **29 von 51** Gebäuden in einer 15%-Abweichungsspanne.

Entsprechend der linken Darstellung in Abbildung 21 werden die Ergebnisse der erhobenen Objekte dargestellt. Die Verhältnisse von Bedarfswert und Verbrauchswert werden über dem Bedarfswert aufgetragen und eine logarithmische Kurve eingetragen (Abbildung 21, rechts). Bei den Diagrammen sind die verschiedenen Achsenskalierungen zu berücksichtigen, und das Fehlen des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitstellung im linken Teil der Abbildung. Ein entsprechender Warmwasser-Zuschlag würde zu einer leichten Verschiebung nach oben führen.

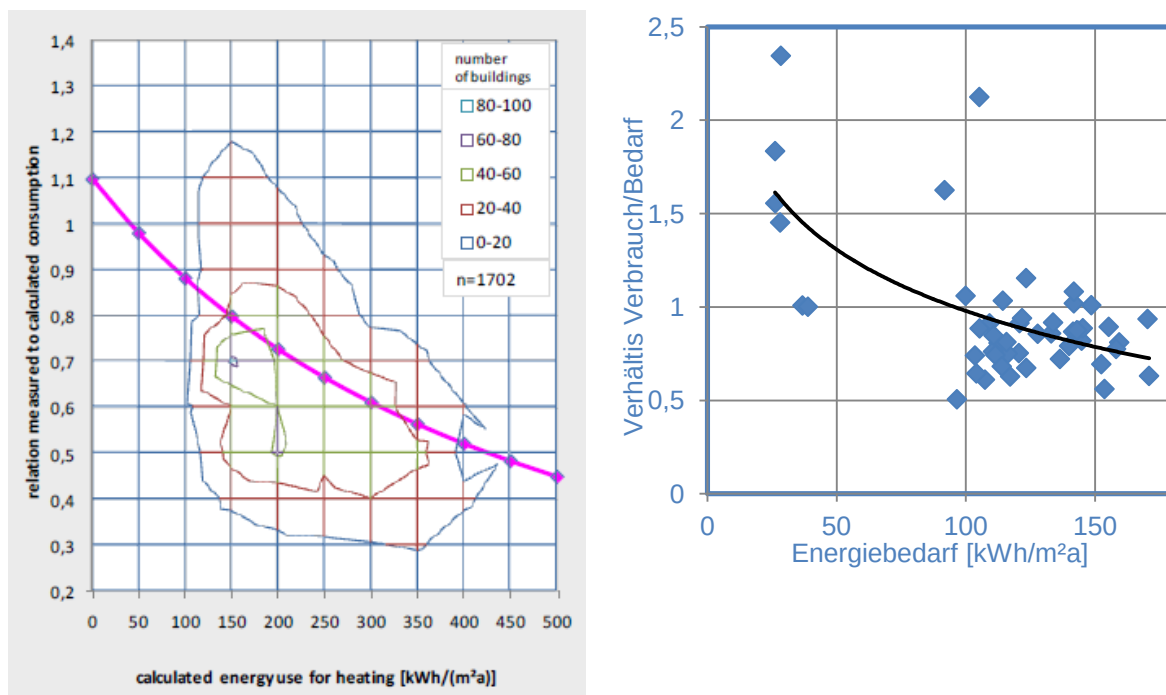


Abbildung 21: Anpassung von Bedarfs- und Verbrauchswerte: Funktionsgleichung¹⁵⁷ und Verhältnis von Verbrauch/Bedarf zum berechneten Bedarf¹⁵⁸

Aus den Abbildungen geht hervor, dass ab einem Verbrauchswert über 100 kWh/(m²a) bei zentral beheizten Gebäuden der Adaptionfaktor größer 1 ist, also zum Mehrverbrauch tendieren. Der Schnittpunkt zum Mehrverbrauch bei einem Bedarfswert von 100 kWh/(m²a) findet sich bei beiden Darstellungen wieder, danach steigt die Kurve allerdings steiler an, als dies gemäß Adaptionfaktor zu erwarten gewesen wäre. Für Gebäude mit Bedarfswerten kleiner 30 kWh/(m²a) steigt das Verhältnis tendenziell über 1,5. Aus der Darstellung dieser Verhältnisse (Verbrauch/Bedarf) und der zugehörigen Trendlinie lässt sich zu jedem Bedarfswert das zugehörige Verhältnis zum Verbrauch ablesen. Daraus können Kalibrierungs-

¹⁵⁶ vgl. Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 79.

¹⁵⁷ Loga, Stein, Diefenbach, & Born, 2015, S. 78.

¹⁵⁸ eigene Darstellung.

faktoren für das TABULA-Rechenverfahren abgeleitet werden, mit denen eine realistische Abschätzung des zu erwartenden Verbrauchs möglich ist.

7.2.3 Fehlerbetrachtung

Die aufgezeigten Verfahren beruhen auf dem rechnerischen Bedarfswert. Dieser wurde zwar in der vorliegenden Arbeit unter Einbezug aller ermittelbaren Angaben berechnet, kann und ist wahrscheinlich aber dennoch lückenhaft. Abweichungen von den Standardparametern, die, wenn keine detaillierteren Angaben vorlagen, für die Berechnung herangezogen wurden oder auch fehlerhaften Flächenbezüge stellen hier eine potentielle ‚Risikogröße‘ dar. Durch Variation dieser Parameter gibt der vorliegende Abschnitt einen Eindruck über die Größenordnung dieser Abweichungen.

7.2.3.1 Standardparameter

Mittels der Betrachtung der in TABULA angesetzten Standardwerte soll eine Abschätzung über den großen Einfluss der Variable ‚Nutzer‘ gegeben werden, da dieser in vereinfachten Rechenwegen kaum realistisch abgebildet werden kann und damit die Spannbreiten der Bedarfsrechnung aufgezeigt werden sollen. Tabelle 28 gibt einen Überblick über die Standardwerte und die Variationen der einzelnen Stellschrauben.

Tabelle 28: Rahmenbedingungen Fehlerbetrachtung¹⁵⁹

	Standardwert (TABULA)	Variation_min	Variation_max	Quelle
Luftwechsel	0,4 1/h	0,2 1/h	0,4 1/h	¹⁶⁰
Innentemperatur	20° (Standard)	18,5°	21,5°	¹⁶¹
	21° (KfW55)	20°	23°	
	22° (Passiv)			
interne Gewinne	3 W/(m²K)	2 W/(m²K)	4 W/(m²K)	
Warmwasserbedarf	15 W/(m²K)	10 W/(m²K)	20 W/(m²K)	¹⁶²
solare Gewinne		+/-50%	+/-80%	

Die Variationen der Raumtemperaturen werden dabei in energetisch hochwertigen Gebäuden höher angesetzt als diese bei der ‚durchschnittlichen Sanierung‘ auftreten würden. Ebenfalls geprägt vom Nutzer und dem Gebäudestandard sind das Lüftungsverhalten und die sich daraus ableitende Luftwechselrate. Diese hängt von der Gebäudenutzung ab. Die Lüftungseffektivität ist dabei aber auch von der Gebäudedichtheit, dem Vorliegen einer Lüftungsanlage und der Windsituation am jeweiligen Standort abhängig. Auch die Fensterform, die individuell bevorzugte Fensterstellung (Querlüftung, Nachtlüftung,...) und die Strömungswiderstände innerhalb des Gebäudes (offene/geschlossene Innentüren, Raumauftei-

¹⁵⁹ eigene Darstellung.

¹⁶⁰ vgl. Schulze Darup, 2010, S. 31.

¹⁶¹ vgl. Schröder, Engler, Boegelein, & Ohlwärter, 2010, S. 1.

¹⁶² vgl. Loga, 2015, S. Tab.BoundaryCond.

lung etc.) spielen eine Rolle.¹⁶³ Eine weitere Stellschraube ist die Personenbelegung, die sich auf die internen Gewinne, den Heizwärmebedarf und den Warmwasserverbrauch auswirkt. Da auch bei der Heizkostenabrechnung der Warmwasserverbrauch immer eine prägnante Größe ist, wird dieser in die Fehlerbetrachtung mit einbezogen. Der Standard TABULA-Wert von 15 kWh/(m²a) wird einerseits auf 10 kWh/(m²a) herabgesetzt (dies entspricht gemäß TABULA einem Reihen- oder Einfamilienhaus) und andererseits auf einen Mehraufwand von insgesamt 20 kWh/(m²a) erhöht. Eine Weiterführung dieses Gedankens inkl. der Anpassung relativer oder absoluter Warmwasseranteile abhängig vom Gebäudestandard ist auch bereits in BMVMS-Publikationen zu finden.¹⁶⁴ Als letzter Faktor wird die Einschränkung bzw. Erhöhung der Solarstrahlung simuliert. Durch außen- wie innenliegende Sonnenschutzeinrichtungen können sich die solaren Gewinne deutlich minimieren. Diese sind bei energetisch hochwertigen Gebäuden von beachtlicher Relevanz für die Energiebilanz und werden deshalb in angemessenen Spannen um 50 % und 80 % reduziert.¹⁶⁵ Dies würde gemäß der DIN V 18599 in etwa einer innenliegenden weißen Jalousie bzw. einer weißen Außenjalousie entsprechen.¹⁶⁶ Da TABULA bereits von einer städtischen Bebauung und dementsprechend abgemilderter Strahlung ausgeht, berücksichtigt eine positive Variation der Einstrahlung einen offeneren, sonnenausgesetzteren Standort ohne verschattende bzw. niedrige Nachbargebäude. Da alle diese Parameter je nach Gebäudestandard verschieden stark Einfluss nehmen können, werden diese nach Effizienzklasse unterschieden.¹⁶⁷ Das Ergebnis dieser Variationen, wie sich die Bedarfswerte im Vergleich zur Berechnung mit allen bekannten Eingangsgrößen ändern, zeigt Tabelle 29.

Tabelle 29: Ergebnis nutzerbedingte Fehlerbetrachtung der Standardparameter¹⁶⁸

Variable	Luftwechsel	Innentemperatur	interne Gewinne	Warmwasserbedarf	Solarstrahlung	
Spanne	+/-0,2	+/-1,5	+/-1	+/-5	+/-50%	+/-80%
Klasse						
A	16,11%	8,52%	9,03%	11,36%	11,97%	20,06%
C	12,93%	9,40%	4,24%	5,05%	4,44%	7,20%
D	10,04%	9,42%	3,28%	4,00%	4,13%	6,70%

Trotz gleicher Spannbreiten der Variablen reagieren die Klasse A-Gebäude mit Ausnahme der Innentemperatur am deutlichsten. Erhöhte Warmwasserbedarfe und verminderte Einstrahlungen haben bei diesen mehr als doppelt so viel Einfluss als bei den anderen Klassen.

¹⁶³ vgl. Knissel & Großklos, 2011, S. 6.

¹⁶⁴ vgl. Fisch, et al., 2012, S. 51 f.

¹⁶⁵ vgl. Biermayr, 1998, S. 94.

¹⁶⁶ vgl. DIN V 18599 Beiblatt 2 - Wohngebäude, 2009, S.81.

¹⁶⁷ vgl. Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014.

¹⁶⁸ eigene Darstellung.

Betrachtet man nun den Gesamtfehler bzw. die Unsicherheit im Sinne der Fehlerfortpflanzung nach Gauß, ergibt sich nachfolgendes Ergebnis (Tabelle 30). Dabei ist zu erwähnen, dass bei der solaren Einstrahlung ein Mittelwert von 65 % verrechnet wurde.

Tabelle 30: Ergebnis Fehlerfortpflanzung der nutzerbedingten Fehlerbetrachtung¹⁶⁹

Effizienzklasse	prozentual	absolut
	%	kWh/(m ² a)
A	59,93	36,36
C	29,59	67,01
D	25,05	75,67

Durch die geringen Ausgangswerte im Bedarf waren auch die absoluten Abweichungen über alle Variablen bei den A-Gebäuden am geringsten. Hochsummiert zeigt sich allerdings, dass die Effizienzklasse A mit fast 60 % doppelt so großen Unsicherheiten unterlegen ist, als die Klassen C und D. Damit könnten allein die hier aufgeführten Variablen alle prozentualen Abweichungen von Bedarf und Verbrauch aus Tabelle 16 erklären. In den Grenzen der oben dargestellten Variationen ergeben sich absolute Werte, die in Klasse A Abweichungen von bis zu 36 kWh/(m²a), Klasse C 67 kWh/(m²a) und in Klasse D sogar über 75 kWh/(m²a) führen können. Auch die absoluten Werte können die Spannen der Abweichung der Bedarfsklassen abdecken, nur auf den Mehrverbraucher in Klasse C scheinen noch weitere Unsicherheiten die beträchtlich hohen Werte zu verursachen.

→ Durch ergänzende Fragen bei der Datenerhebung können diese Unsicherheiten minimiert werden. Verdeutlicht wird dies anhand einiger Beispiele: Wäre die sozioökonomische Situation bekannt, könnte ein genaueres Bild über die tatsächliche Anwesenheit gezeichnet werden. Automatisierte Sonnenschutzeinrichtungen können die solaren Einbußen zusätzlich verringern (siehe Mehrverbraucher A.B_C.XL.KfW55). Durch regelmäßige Wartung der Anlagentechnik können Ineffizienzen von Lüftungsanlagen und Anlagentechnik weiter abgemildert und die planerisch angesetzten Luftwechselraten und Innentemperaturen erreicht werden.

→ Neben den aufgezeigten nutzerabhängigen Standardparametern bestehen auch große Unsicherheiten bzgl. der Gebäudedaten (z.B. theoretische und reale Wärmebrücken) und insbesondere auch der Anlagentechnik (Verteilungsverluste, Leitungslängen und –Lage (innerhalb/außerhalb), Erzeugeraufwandzahlen, etc.). Diese Größen können in einem vereinfachten Erhebungs- und Auswertungsverfahren kaum individuell abgebildet werden, aber dennoch für einen Großteil der Diskrepanzen ursächlich sein. In Kapitel 5.4 wird die Anlagentechnik mehrfach als maßgeblicher Einflussgeber auf den Mehrverbrauch vermutet. Eine weitere qualitative Übersicht über mögliche Anlagendefizite ist in Kapitel 7.4.2 dargestellt.

¹⁶⁹ eigene Darstellung.

7.2.3.2 Hüllflächen

Da es auch bei der direkten Flächenangabe zu fehlerhaften Aufmaßen vor Ort kommen kann (Grundlage für das Flächenschätzverfahren), wurden auch die Abweichungen von Bedarfs- und Verbrauchswert ermittelt, wenn die in TABULA ursprünglich veranschlagte Flächenschätzung angewendet wurde. Zudem wurden die realen Angaben zur Temperatur oder zum Luftwechsel, die den Fragebögen entnommen und in die Ausgangsberechnungen eingeflossen sind, durch Standardparameter ersetzt. Bei den U-Werten wurden ebenfalls nicht die Angaben aus den Bedarfsausweisen, sondern die aus dem Baujahr ermittelten Standard-U-Werte inkl. Abmilderung durch eine aufgebrachte Dämmung¹⁷⁰ verwendet. Kurz: alle Parameter auf ‚Standard-Einstellung‘. Die Ergebnisse der damit errechneten Abweichungen von Verbrauchs- und Bedarfswert zeigt Tabelle 31.

Tabelle 31: Abweichung bei Flächenschätzung und Standardrandbedingungen¹⁷¹

Klasse	Flächenschätzung (Abweichung Verbrauch/Bedarf)	Flächenschätzung mit Standardrandbedingungen	angewendete Berechnung (Vergleich)
	%	%	%
A	34,30	24,30	53,48
C	-9,55	-6,16	-11,15
D	-11,21	-14,23	-15,69

Auffallend ist, dass die Abweichungen mittels Flächenschätzung tatsächlich geringer werden, als dies mit der detaillierten Berücksichtigung der Fall ist. Da die Flächenschätzung auf durchschnittlichen Bauteilflächen und Gebäudecharakteristika beruht, ‚mitteln‘ sich die Abweichungen vom Muster-Standardgebäude heraus. Ob dies nun wirklich auf fehlerhaftes Aufmaß oder fehlerhafte Eintragungen zurückzuführen ist, kann leider nicht überprüft werden. Da sich diese Erhebung auf modernisierte Bestandsgebäude, bei denen oftmals ein Bestreben nach finanziellen Zuschüssen und der damit verbundenen Qualitätssicherung vorliegt, wurde von einer gewissen Akkuratess beim Aufmaß ausgegangen. Die detaillierten Angaben spiegeln die vorliegenden Gebäudesätze folglich auch detaillierter wieder, als dies mit dem Flächenschätzverfahren um ein ‚Mustergebäude‘ möglich wäre. Für große Gebäudebestände und Unklarheiten bezüglich der genauen Bauteilflächen scheint die Flächenschätzung das Mittel der Wahl zu sein, um großflächig die Beurteilung von Effizienzmaßnahmen vorzunehmen.

7.3 Verbrauchswertabschätzung

Die Ergebnisse aus den Verfahren der Verbrauchswertabschätzung können nun mit den Resultaten der Fehlerbetrachtung der Standardparameter kombiniert werden. Für die aus dem Verhältnis von Verbrauch und Bedarf abgeleitete Kurve (siehe rechte Darstellung Ab-

¹⁷⁰ hier wurden nur die Angaben zu den Dicken der aufgebrachten Dämmstoffschichten berücksichtigt.

¹⁷¹ eigene Darstellung.

bildung 21) werden die Spannen der nutzerbedingten prozentualen Fehlerbereiche der Energiebilanzrechnung gemäß Tabelle 30 der verschiedenen Bedarfsklassen

- Effizienzklasse A: 60 %
- Effizienzklasse C: 30 %
- Effizienzklasse D: 25 %

mittels Fehlerbalken eingetragen. Das Ergebnis zeigt Abbildung 22.

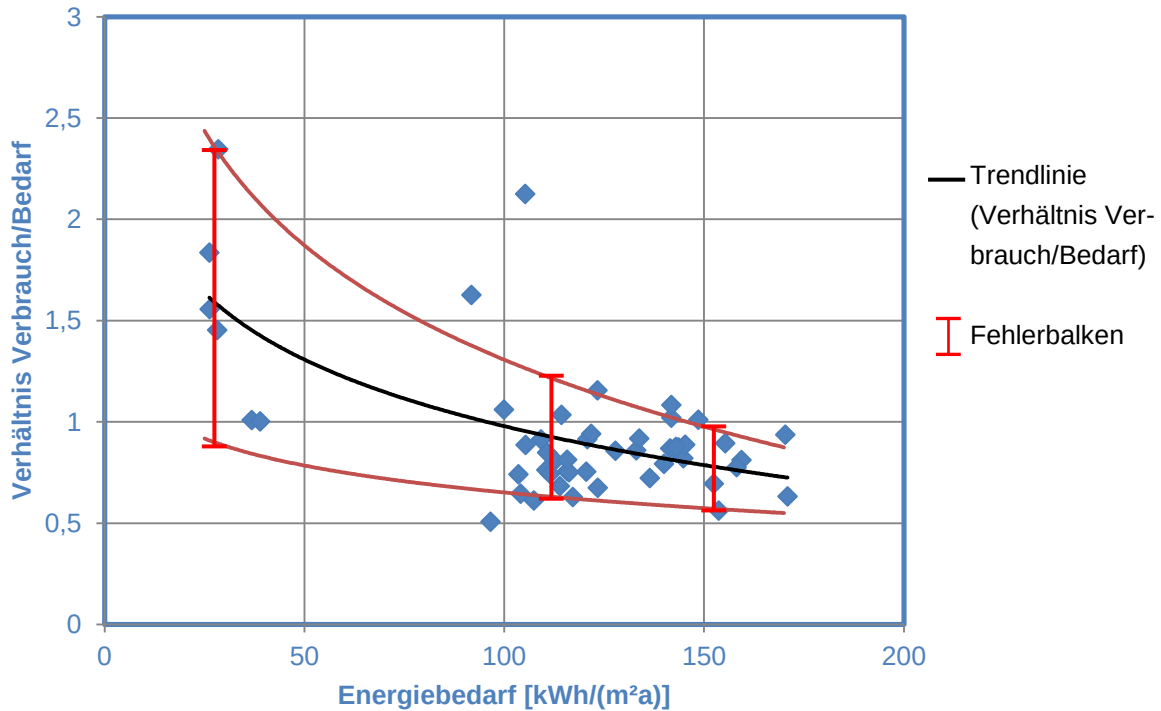


Abbildung 22: Anpassungsfaktoren inkl. Fehlerbalken¹⁷²

Die Verbrauchswerte der erhobenen Gebäude liegen größtenteils in der Spanne des dargestellten Fehlerbereichs und können damit durch Variation der Nutzungsparameter erklärt werden. Durch die Kalibrierungsfaktoren und den Fehlerspannen gelingt es durch das Verfahren, abhängig von der Höhe des TABULA-Bedarfswertes, eine realistische Einschätzung der zu erwartenden Verbrauchsspanne zu geben.

7.4 Zusammenfassung der Einflussgrößen

Das dargestellte Verfahren aus Kapitel 7.3 ermöglicht eine Abschätzung des Verbrauchswertes durch die alleinige Kenntnis des Bedarfswertes, in Kapitel 7.1 war allein der Verbrauch die notwendige Größe. Der Verbrauchswert beinhaltet zwar alle Einflussgrößen auf den Energieverbrauch, kann diese aber nicht differenzieren oder nennen. Durch Standardparameter versucht der Bedarfswert diese abzubilden, oftmals gehen diese Einflüsse allerdings über die betrachteten Werte hinaus. Die Darstellung der Einflussparameter setzt die erzielten Ergebnisse in einen entsprechenden Kontext und weist auf zahlreiche bisher unberücksichtigte oder gar unbekannte Einflussgrößen hin.

¹⁷² eigene Darstellung.

Die großen Energiedienstleister nehmen häufig selbstständig Untersuchungen zu diesen potentiellen Einflussfaktoren vor. Deren Auswertungen repräsentieren die Ergebnisse von mehreren hunderttausenden Haushalten, und können damit als statistisch und empirisch belastbar eingestuft werden. Zahlreiche andere Einflussfaktoren lassen sich weniger einfach quantifizieren bzw. beziffern und sind deshalb ‚nur‘ qualitativ dargestellt. Im Fragebogen wurde versucht, insbesondere qualitative Erhebungsgrößen nachzufragen, da die quantifizierten Parameter unabhängig vom Nutzer bei zukünftigen Bedarfsrechnungen Berücksichtigung finden könnten.

7.4.1 Unabhängige Einflussgrößen (Literatur)

Als ‚unabhängig‘ sind hier Einflüsse bezeichnet, die nicht vom Nutzer selbst direkt gesteuert werden und im Rahmen größerer Erhebungen ‚quantifiziert‘ wurden. Als quantifiziert werden in diesem Abschnitt Parameter angesehen, die aus empirischen Erhebungen hervorgegangen sind und exakt beziffert werden können. Dazu gehören die durchschnittlichen regional-spezifischen Verbrauchskennzahlen, die Größe der Wohnungsunternehmen und die von der Regulierungsperiode abhängige Qualität der Bausubstanz.

- **Regionale Unterschiede**

Deutliche Abhängigkeiten zeigen sich in den Dienstleister-Auswertungen bezüglich eines West-Ost und Nord-Süd-Gefälles von Verbrauchswerten. Die geringen ista-IWH-Indexwerte in den Neuen Bundesländern werden dabei in erster Linie auf die hohen baulichen Investitionen in den 90er Jahren und einer höheren Sanierungsquote als in Westdeutschland zurückgeführt. Durch Heranziehen der damaligen Zensus-Datenerhebung (2006) ergeben sich weitere verbrauchssteigernde Faktoren wie höheres Einkommen, einer langen Nutzungsdauer oder dem Anteil an Eigentumswohnungen im Gebäude.¹⁷³ Die Differenz des Heizenergieverbrauchs beim Ost-West-Gefälle wird gemäß der ista-IWH-Auswertung gegenüber 2009 (im Durchschnitt 18,0 kWh/(m²a)) allerdings stetig geringer (2012: 6,4 kWh/(m²a)).¹⁷⁴

Die regionalen Differenzen werden auch von anderen Energiedienstleistern bestätigt. Die Deutschlandkarten in Abbildung 23 zeigen die Indexindikatoren (ista-IWH) und die Endenergieverbräuche von Techem. Die nach Osten und Süden hin abnehmenden Verbräuche sind deutlich erkennbar.

¹⁷³ vgl. Michelsen, 2009, S. 387.

¹⁷⁴ vgl. Michelsen, Rosenschon, & Barkholz, 2013, S. 87.

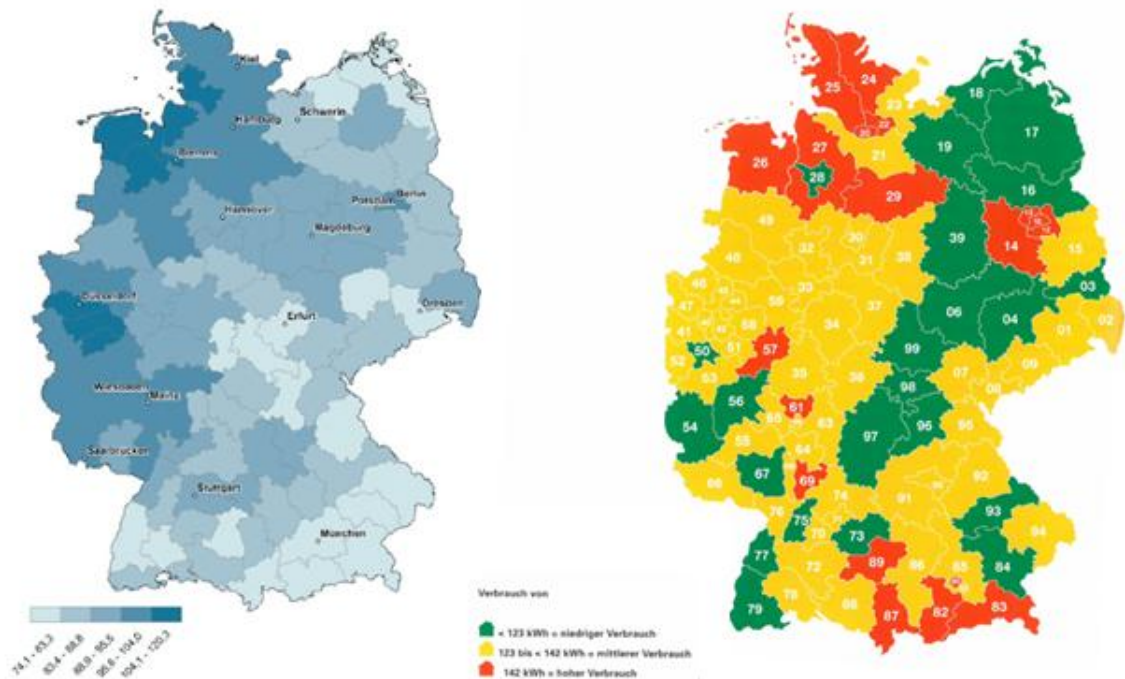


Abbildung 23: Deutschlandkarte des ista-IWH-Energieeffizienzindex 2012 (links)¹⁷⁵ und regionale Verteilung des Gesamtendenergieverbrauchs (rechts)¹⁷⁶

Die genannten verbrauchssteigernden Faktoren wurden in einer weiteren Untersuchung 2012, speziell zu den Treibern des Heizenergieverbrauchs in Mehrfamilienhäusern, noch einmal bestätigt. Diese quitierte dem „Renditeobjekt“ Mehrfamilienhaus desweiteren Abhängigkeiten von den aktuellen und regionalen Marktbedingungen, die maßgeblich Einfluss auf die Höhe (und Qualität) der Investitionstätigkeit ausüben.¹⁷⁷

- **Größe des Wohnungsunternehmens**

Signifikante Einflüsse auf die Höhe der zu erreichenden Effizienzgewinne wurden 2010 bezüglich der Anbietergröße dokumentiert. Der Auswertung der Verbrauchs- und Energieausweisdatenbank (nach Bereinigung ca. 100.000 Werte) lag wieder eine regressionsanalytische Herangehensweise zu Grunde. Die Analyse sah u.a. verschiedene Sanierungskombinationen inkl. Vollsanierung und die Unterscheidung in Kleinstanbieter (bis 20 WE), Kleinanbieter (21-200 WE), mittlere Anbieter (201-1000 WE) und Großanbieter (> 1000 WE) vor.¹⁷⁸ Als Ergebnis lagen die Effizienzsteigerungen einer Vollsanierung bei Kleinstanbietern bei maximal 14,7 %, wohingegen große Anbieter einen Mehrwert von bis 32,3 % erreichen können. Bei Teilsanierungen schwächt sich die Gesamteffizienz kollektiv ab, wobei große Anbieter auch bei der Teilsanierungsvariante: ‚Fassade, Fenster, Kellerdecke und Heizungsanlage‘ Effizienzverbesserungen über 30 % erreichen können. Die kleinen Anbieter zeigen dabei die größten Spannen.¹⁷⁹ Als Gründe für den beachtlichen Mehrwert der größeren An-

¹⁷⁵ Michelsen, Rosenschon, & Barkholz, 2013, S. 87.

¹⁷⁶ Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 38.

¹⁷⁷ vgl. Michelsen, Zumbro, & Claudy, 2012, S. 305 f.

¹⁷⁸ vgl. Rosenschon, Schulz, & Michelsen, 2011, S. 164.

¹⁷⁹ vgl. Rosenschon, Schulz, & Michelsen, 2011, S. 167.

bieter werden die Lernkurveneffekte genannt, die sich auf die geringere Fehlerquote, kosteneffizientere Sanierungsmaßnahmen und Technologiekenntnisse, wie auch den besseren Organisationsmöglichkeiten und dem höheren Fachwissen in den Planungsabteilungen ausdrücken.¹⁸⁰

- **Grundsubstanz/ Regulierungsperiode**

In wie weit die in Kapitel 2.5.2 angesprochenen bauphysikalischen Eigenschaften der ursprünglichen Gebäudesubstanz und der dazugehörige Heizwärmeverbrauch von den jeweils geltenden Bauregularien beeinflusst wurden, wurde 2012 anhand den Daten aus dem Energieausweis untersucht. Dabei wurde der Wärmeschutzverordnung 1994 der größte ‚Niveau‘-Effekt bescheinigt. „Die deutliche Verschärfung (rund 35 % höhere Anforderungen) verdoppelte nahezu den technischen Fortschritt im Bausektor (Faktor 1,9).“¹⁸¹ Weitere dynamische und verbrauchssenkende Effekte konnten aber auch allen anderen Regulierungsperioden nachgewiesen werden: die Energiekennwerte sanken ab 1978 jährlich um -2,4 kWh, ab 1984 um -2,3 kWh, 1995 um -4,4 kWh und ab 2002 um -3,5 kWh.¹⁸²

7.4.2 Qualitative Einflussparameter

Neben den quantifizierbaren Parametern wurden bisher auch zahlreiche Studien veröffentlicht, die mittels Regression die Zusammensetzung und Höhe der Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch zu ergründen suchten.¹⁸³ Die Ergebnisse von regressionsanalytischen Auswertungen orientieren sich allerdings stark an den jeweiligen Rahmenbedingungen, Schätzgleichungen und der Festlegung/Auswahl der abhängigen Variablen, weswegen hier die Wiedergabe ein falsches Bild von Absolutheit der Zahlen generieren würde. Bei den Regressionsanalysen geht es vorwiegend darum, einen Eindruck von den relativen Größen der Variablen zu erhalten. Aus diesem Grund sind deren Ergebnisse als ‚qualitativ‘ eingeordnete Parameter hier aufgeführt. Die Feststellung eines Rebound-Effekts war dabei der erste Schritt in Richtung detaillierter sozioökonomischer Analysen. Die besagte sozioökonomische Situation der Bewohner wurde im Fragebogen durch die Zusatzdaten zu ‚Bewohner und Nutzer‘ berücksichtigt. Auf Grund der mangelnden Rückläufe konnten die zahlreichen Faktoren nur in kleinen Bereichen in die Analyse mit eingehen.

- **Rebound**

„Die Mehrnachfrage aufgrund einer Produktivitätssteigerung“ bzw. deren „unerwünschte Nebenwirkungen“¹⁸⁴ werden als Rebound-Effekt bezeichnet. Dieser ist in allen Bereichen, in denen energieeffiziente Maßnahmen umgesetzt werden, festzustellen und hat zahlreiche verschiedene Ausprägungsarten. Als erster Abschätzungswert wurde der Rebound-Effekt auf 50 % beziffert, demnach wird nur die Hälfte der rechnerischen Einsparung auch verwirklicht.¹⁸⁵ Der Mehrverbrauch im Gebäudesektor wird dabei v.a. durch die höheren Komfortan-

¹⁸⁰ vgl. Rosenschon, Schulz, & Michelsen, 2011, S. 163.

¹⁸¹ Michelsen & Rosenschon, 2012, S. 354.

¹⁸² vgl. Michelsen & Rosenschon, 2012, S. 354.

¹⁸³ z.B. Hansen, 2015 und Frondel & Nolan, 2012.

¹⁸⁴ Santarius, 2012, S. 5.

¹⁸⁵ vgl. Santarius, 2012, S. 6.

sprüche der Bewohner in sanierten Gebäuden angesehen, die sich insbesondere durch höhere Innentemperaturen ausdrücken. Diese können, wie in der Fehlerbetrachtung aufgeführt, allein durch die Variation von 1,5 °C zu ca. 10% Schwankungen im Bedarf führen. Dass sich dieser Mehrverbrauch auch unbeabsichtigt einstellen kann, zeigt bspw. die verspäteten physiologischen Reaktionen der Bewohner auf Grund der modernen Bausubstanz: durch die massiven, wärmeabgebenden Bauteile werden Kaltzonen oder Zuglufterscheinungen auf Grund offener Fenster erst spät wahrgenommen oder die Gebäudedichtheit führt zur Anreicherung von Luftschadstoffen/CO₂ und damit zum Bedürfnis nach Frischluft bzw. Lüftung.¹⁸⁶ Umgekehrt kann allerdings auch ein Minderverbrauch in energetisch weniger hochwertiger Gebäudesubstanz festgestellt werden, der von Sunnikka-Blank und Galvin als ‚Prebound‘ bezeichnet wird. Dieser soll aufzeigen, ob und wie hoch der Verbrauch bereits vor der Sanierung vom Bedarfswert abwich und wie dieser dementsprechend Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Effizienzmaßnahme hat.¹⁸⁷ Die auf den unsanierten Zustand beruhende Abschätzung des Energie-Einsparpotentials aus Kapitel 7.1 geht ebenfalls von diesem Schema aus. Interessanterweise ist dieser ‚Prebound‘ auch bei den modernisierten Gebäuden der Bedarfsklassen C (11 % Minderverbrauch) und D (16% Minderverbrauch) in dieser Arbeit zu finden. Wird auch in diesen erhobenen Gebäuden (Klasse C und D) zu wenig gelüftet oder sind die Innenraumtemperaturen niedriger als bei sanierten Gebäuden veranschlagt, könnte dieses für den Minderverbrauch zumindest teilweise ursächlich sein (siehe Größe der Einflüsse in Tabelle 29). Mit steigendem Gebäudestandard und höherer Effizienz kehrt sich dieser dann in den Rebound-Effekt um (Bedarfsklasse A 53 % Mehrverbrauch). Die Feststellung dieser Effekte war die Grundlage für alle nachgehenden sozioökonomischen Betrachtungen, die diesen Effekt qualitativ (welche Größen haben überhaupt Einfluss) und quantitativ (wie hoch ist der Einfluss der einzelnen Parameter) untersuchten.

- **sozioökonomische Faktoren**

Der sozioökonomische Einfluss wird unterschiedlich stark gewichtet. Bei manchen Studien erklärt dieser lediglich die Rand- bzw. nicht bezifferbaren Zusatzeinflüsse, in (Hansen, 2015) wird er hingegen sowohl als direkten Einflussgeber auf den Energieverbrauch als auch als indirekte Größe im Bezug auf Gebäude- und Haushaltscharakteristika beschrieben. Aus den dort verwendeten Variablen, u.a. Nettoeinkommen, Berufsstand, Bildungsgrad, Alter oder Immigrationshintergrund, ergeben sich Gewohnheiten und Alltagsstrukturen, die beim Verständnis des Energieverbrauchs berücksichtigt werden müssen.¹⁸⁸

Ähnliche Ergebnisse einer ista-IWH-Auswertung bestätigen diese Ergebnisse und ergaben signifikante Energie-Mehrverbräuche durch höheres Einkommen, höheren Wohnflächenkonsum und die Anzahl minderjähriger Kinder im Haushalt. Senkend wirkt sich hingegen eine höhere Eigentümerquote (deren Bestreben an energieeffizienten Sanierungen durch ihre unmittelbare Betroffenheit stärker ausgeprägt ist), die Haushaltsgröße bzw. Personenanzahl (weniger Bewohner verbrauchen weniger Energie) und der Anteil an Rentnern aus. Als weiterer Parameter wird die Steigung des Energiepreises, der sowohl Einfluss auf den

¹⁸⁶ diese und weitere Gründe sind in Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014, S. 14 zu finden.

¹⁸⁷ vgl. Sunnikka-Blank & Galvin, 2012, S. 265.

¹⁸⁸ vgl. Hansen, 2015, S. 114 ff.

Energieverbrauch als auch auf den Stromkonsum besitzt, festgestellt. Allerdings bedarf es hierfür einer merklichen Teuerung bzw. dem Übersteigen einer gewissen Preisschwelle, damit der Bewohner sein Verhalten nachhaltig ändert.¹⁸⁹

- **Gebäude**

Während bei unsanierten Gebäuden die Transmissionswärmeverluste durch die komplette Gebäudehülle dominieren, wirken sich im Effizienzhaus punktuelle Schwachstellen wesentlich deutlicher auf die Energiebilanz aus. Durch Leckagen und unzureichend hergestellte Gebäudedichtheit kommt es zu massiven Wärmeverlusten, die oftmals mit höheren Heizflächentemperaturen kompensiert werden.¹⁹⁰ Bezüglich der Dämmstoffe muss achtsam die trockene Lagerung sichergestellt, die Setzungserscheinungen von eingeblasenen Dämmstoffen beobachtet und detailliert auf Bauteilanschlüsse, -Verbindungen und -Übergänge geachtet werden.¹⁹¹

- **Anlagentechnik**

Durch die zunehmende Komplexität und Vielfalt der heizungs- und klimatechnischen Komponenten steigt auch die Anforderung an deren Bedienung. Diese müssen nicht nur fachgerecht eingebaut, sondern auch gewartet und auf den optimalen Betrieb überprüft werden. Contracting-Lösungen können hier die Betriebsführung optimieren und die Jahresnutzungsgrade um 9-10 % verbessern.¹⁹² Ist dies nicht der Fall oder ist das gesamte Anlagenkonzept nicht aufeinander abgestimmt, kommt es schnell zu massiven Mehrverbräuchen. Die einheitliche Abstimmung der Komponenten (z.B. Pumpen, Verteilnetz, Heizflächen), ein hydraulischer Abgleich der ggf. alten Rohre auf den neuen Erzeuger und die Dämmung von Speicher und Leitungen müssen gesichert sein.¹⁹³ Speziell im Sanierungsprojekt Rotlinstraße wurden die Faktoren für den Mehrverbrauch technisch festgestellt und detailliert beziffert. Anlagenbezogen kam es hier v.a. zu zwei Problemen: verspätete Umschaltung der Lüftungsanlagen von Sommer- auf Winterbetrieb und durch die Handsteuerung der Heizungsregulierung wurde der Heizkreis auch im Sommer betrieben.¹⁹⁴ Nicht nur der Umgang mit der Anlagentechnik selbst kann fehlerbehaftet sein, sondern auch die zugehörigen Abrechnungsunterlagen. Bei lagerungsfähigen Energieträgern werden in der Heizkostenabrechnung potentielle Rückstände in den Heizöl- oder Pellets-Reservoirs nicht berücksichtigt oder der Strom für die Nachtspeicherheizung oder die Wärmepumpe nicht unter Wärmeerzeuger verrechnet.¹⁹⁵

¹⁸⁹ vgl. Biermayr, 1998, S. 119.

¹⁹⁰ vgl. Selk, 2010, S. 21.

¹⁹¹ vgl. Selk, 2010, S. 18 und Großklos, 2013, S. 48.

¹⁹² vgl. Techem Energy Services GmbH, 2013, S. 16 f.

¹⁹³ vgl. Jagnow & Wolff, 2008, S. 105.

¹⁹⁴ vgl. Großklos, 2013, S. 44.

¹⁹⁵ vgl. Stolte, Marcinek, Bigalke, & Zeng, 2013, S. 8 f.

8 Schlussfolgerungen

Zum Abschluss der Arbeit wird in Anbetracht der erarbeiteten Erkenntnisse und Erfahrungen der Ansatz bzgl. des Erhebungsmediums, der Resonanz in den Wohnungsunternehmen und das Rechenverfahren kritisch hinterfragt. Daran anschließend erfolgt eine Einschätzung der zukünftigen Perspektive der Thematik ‚Verbrauch/Bedarf‘, die durch Entwicklungen zur verbrauchsabhängigen Erfassung der Warmwasseranteile und zur Nachhaltigkeitsberichterstattung durchaus als positive Trendlinien gewertet werden können.

8.1 Kritische Hinterfragung des Ansatzes

Durch den direkten Kontakt mit den Wohnungsanbietern und die umfangreiche Literaturrecherche wurden zahlreiche Schwachstellen festgestellt. Grundsätzlich sind die Wohnungsunternehmen durchaus als geeigneter Ansprechpartner für eine derartige Erhebung, die die Bündelung von hochwertigen Gebäudedaten und abgerechneten Energieverbräuchen erfordert, geeignet. Durch eine weitergehende Sensibilisierung der Unternehmen könnte bereits zu Anfang ein Augenmerk auf die Qualität und den Umfang der notwendigen Daten gelegt werden, da die direkte Einpflegung der Daten in die zugehörigen Datenbanken weit weniger Aufwand erfordert, als dies für komplette Gebäudebestände im Nachhinein der Fall wäre. Durch Verknüpfung und Einbindung der Akteure, wie Bewohner oder Hausmeister vor Ort, denen das Gebäude bekannt ist, könnten diese Daten noch weiter spezialisiert werden. Trotz der direkten Erhebung und Übernahme der Gebäudedaten von den Wohnungsunternehmen kam es immer wieder zu Ungereimtheiten zwischen Bedarfsausweis und bspw. zugehöriger Datenbank. Ebenso waren teilweise auf der Heizkostenabrechnung verschiedene Wohnflächenangaben zu finden, die nicht mit den zugehörigen Datenbankeinträgen kongruent waren. Dies lässt darauf schließen, dass, wenn überhaupt eine derartige Datenbank vorliegt, auch die stetige Aktualisierung nicht vorgenommen wird.

Die Excel-Struktur des Fragebogens ist geeignet zahlreiche Informationen und größere Datenbestände abzufragen. Es zeigte sich allerdings, dass diese im Rahmen der übersichtlichen Erhebung einer Masterarbeit oftmals bei nicht für die Thematik sensibilisierten Unternehmen auf Überforderung stieß. Durch eine einfachere Darstellung hätten möglicherweise kleinere Wohnungsunternehmen mit wenigen Gebäuden die Erhebung stützen können. Dazu gegensätzlich verhält es sich mit den Berechnungen nach dem TABULA-Verfahren bzw. der angewendeten IWU-Excel-Mappe. Diese ermöglicht Energiebilanzen im großen Umfang, aber oftmals mussten Informationen und vorliegende Details (z.B. Loggien, Dachvorsprünge) durch dessen vereinfachende Struktur (z.B. die geringe Anzahl an Bauteilen) erst aufwendig verrechnet und vereinheitlicht werden. Die vorliegenden Bedarfsausweise legen eine Unterteilung in 10 bis 15 Bauteile nahe, da Bauteile wie bspw. die ‚beheizte‘ Bodenplatte des Treppenabgangs oder die Orientierung der Fenster direkt berücksichtigt werden können.

8.2 Ausblick

Die Abweichungen der rechnerischen Bedarfswerte von den real auftretenden Verbräuchen sind unübersehbar und sollten bei der Effizienzbewertung von Gebäuden berücksichtigt werden. Diese Unterschiede werden auch bei der aktuellen Neuauflage der europaweiten Energieeffizienzbewertung rechnerisch und messtechnisch berücksichtigt.¹⁹⁶ Die Pflicht zur Nachhaltigkeitsberichterstattung (ab 2016) in Unternehmen mit mehr als 500 Mitarbeitern oder an denen ein öffentliches Interesse besteht, beherbergt dabei die Hoffnung, dass sich auch kleinere (Wohnungs-) Unternehmen, inspiriert von ‚den Großen‘, mit dem Thema ‚Nachhaltigkeit‘ in ihrem Gebäudebestand auseinander setzen. Mit den Richtlinien der ‚Global Reporting Initiative‘ (GRI-Richtlinien) werden konkret Indikatoren aufgelistet, die eine angepasste Berichtserstellung erleichtern. Zusätzlich kann sich an branchenspezifischen Ergänzungen (für die Immobilienwirtschaft bspw. ‚Construction and Real Estate Supplement‘) orientiert werden.¹⁹⁷

Um die Einsparpotentiale eines Gebäudes in Gänze ausschöpfen zu können, muss der Nutzer mit einbezogen und der Umgang mit der neuen Gebäudesubstanz und der modernen Technik geschult werden. Durch monatliche Abrechnungen (inkl. Vergleiche mit dem Vorjahr) oder der detaillierten Auflösung seines Energiekonsums (‚Smart Metering‘) kann dem Bewohner sein Nutzungsverhalten vor Augen geführt werden. Durch die in der Heizkostenverordnung festgelegte verbrauchsabhängige Heizkostenverteilung können sich die Energieverbräuche um bis zu 20% reduzieren.¹⁹⁸ Durch die ab 2014 bestehende Pflicht zur verbrauchsabhängigen Erfassung des Warmwasseranteils werden zukünftig detaillierte und größere Datenmengen zum tatsächlichen Warmwasserverbrauch vorliegen. Da ein wärmetechnisch modernisiertes Mehrfamilienhaus immer auch ein ‚Wirtschaftsgut‘ darstellt, sollten die Einbeziehung des Modernisierungsniveaus auf die ortsübliche Vergleichsmiete und die Umlagefähigkeit der Sanierungskosten auf die Mietkosten nicht ausgeschlossen werden (-> ökologischer Mietspiegel).¹⁹⁹ Dabei muss ein Weg gefunden werden, der für den Gebäudeeigentümer einerseits wirtschaftlich attraktiv ist, andererseits die Wohnkostenbelastung für den Mieter in angemessenen Grenzen hält.²⁰⁰ Eine umfangreiche und ganzheitliche Sanierungsmaßnahme führt langfristig zu den größten Effizienzsteigerungen für Vermieter und Mieter.²⁰¹

8.3 Empfehlung/Hinweis

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass die schlichte Berücksichtigung und klare Darstellung von Bezugsgrößen wie Fläche, Heiz-/Brennwert und Angabe der Warmwasseranteile eine einfache aber immens wichtige Steigerung der Transparenz und Vergleich-

¹⁹⁶ vgl. prEN ISO 52000-1, 2015.

¹⁹⁷ vgl. 360report GmbH, 2015 und GRI, 2015.

¹⁹⁸ vgl. Felsmann & Schmidt, 2013, S. 2.

¹⁹⁹ vgl. Vortrag von v.Malottki, 2011.

²⁰⁰ vgl. Vogler, 2014, S. 159.

²⁰¹ vgl. Rosenschon, Schulz, & Michelsen, 2011, S. 167.

barkeit zur Folge hätte. Ein formloser Entwurf, wie Gebäudekenndaten bei den Eintragungen in ihre zugehörigen Datenbanken berücksichtigt werden könnten, ist im ‚Anhang G: Kenndatenblatt‘ einzusehen. Dieser enthält alle besagten notwendigen Größen, welche im Idealfall vom Wohnungsunternehmen direkt selbst erhoben oder nachgefragt werden. Desweiteren befindet sich zur Einordnung von Bedarf- und Verbrauchswert die im Rahmen der Verbrauchswertabschätzung ermittelte Kurve und deren zugehörige Fehlerspannen auf dem Kenndatenblatt. Diese Darstellung gilt nur als Entwurf, beschriftete Bandtachos, wie sie in der EnEV Verwendung finden, oder Verteilungskurven ähnlich der Brunata-Metrona-Darstellungen sind sicherlich ebenfalls zur Visualisierung geeignet. Zur Erhebung spezifischer Einflussgrößen bietet der erstellte Fragebogen eine solide Ausgangsbasis. Auch nach der Erhebung und am Ende der Auswertung zeigte sich, dass mit weitergehendem Studium der Literatur und weiterführenden Erkenntnissen die meisten Erhebungsgrößen im Fragebogen als relevant angesehen werden konnten und als Nachfragegröße ihre Begründung fanden.

9 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Verbrauchsbenchmarks für energetisch modernisierte Mehrfamilienhäuser zu entwickeln, die eine Beurteilung der Effizienz nach den Sanierungsmaßnahmen ermöglichen. Zu diesem Zweck musste der reale Energieverbrauch erhoben und der theoretischen Qualität der Gebäude zugeordnet werden. Es wurde ein Fragebogen (Excel-Format) entwickelt, der eine strukturierte, qualitativ hochwertige Erhebung von Gebäude- und Anlagenkenndaten, örtlichen Randbedingungen, Einflussfaktoren und realen Verbrauchswerten ermöglicht.²⁰² Es wurden gezielt 36 Wohnungsunternehmen angesprochen und um ihre Mitwirkung gebeten. Die erfolgreiche Kontaktaufnahme bei 7 Unternehmen²⁰³ führte zur Bereitstellung der Datensätze von 66 Mehrfamilienhäusern, von denen nach Qualitätsprüfung 51 Gebäude in weiterführende Auswertungen aufgenommen wurden. Da das Eintragen der Daten in den tabellarischen Fragebogen nicht in erhofftem Umfang stattfand, wurden die Informationen aus den bereitgestellten Unterlagen (meist Energiebedarfsausweise) selbstständig ausgelesen, welches das Risiko falscher Eintragungen minimierte. Zusätzliche Angaben, die über die energietechnischen Daten hinausgingen, standen dementsprechend nur selten zur Verfügung. Bei den Verbrauchsabrechnungen (und auch bei den Verbrauchsstatistiken) war insbesondere die Kenntnis der Bezugsgrößen bzgl. Wohn-/Nutzfläche, Heiz-/Brennwert, mit/ohne Warmwasserbereitstellung von entscheidender Bedeutung für die Einordnung und spätere Vergleichbarkeit. Durch die uneinheitliche Datenstruktur der übergebenen Informationen wurden diese dementsprechend homogenisiert, um sie als Eingangsdaten für eine energetische Bilanzierung mit dem TABULA-Rechenverfahren verwenden zu können. Das TABULA-Verfahren ist ein speziell auf größere Gebäudebestände zugeschnittenes Bilanzierungsverfahren und orientiert sich an der Heizperiodenbilanz. Um einen direkten Vergleich mit den Verbrauchsdaten vornehmen zu können, wurden die Innentemperaturen der sanierten Gebäude entsprechend ihrem Standard angepasst und regionale Klimadaten der betreffenden Verbrauchsjahre verwendet. Für die Analyse wurden die Verbrauchs- und Bedarfswerte gegenübergestellt und nach verschiedenen Gebäudemerkmalen differenziert. Die ‚Ausreißer‘ wurden gesondert betrachtet. Entsprechend ihrer energetischen Qualität (Bedarfswert) wurden Effizienzklassen gebildet, wobei die Klasse B durch eine Lücke in den Bedarfswerten von 50 bis 90 kWh/(m²a) unbesetzt blieb. Für jede besetzte Klasse wurde der Median (50 %-Schwelle) als der im Durchschnitt erreichbare Wert, und das 25 %-Quantil gebildet, der den anzustrebenden ambitionierten Richtwert innerhalb der Klassen repräsentiert. Durch umfangreiche Auswertungen von Verbrauchsstatistiken konnten die Benchmarks verifiziert und zusätzlich die aufbereiteten Referenzverbräuche für die Merkmale ‚Gebäudegröße‘ und ‚Wärmeerzeuger‘ dargestellt werden. Für die Effizienzkategorie A mit Bedarfswerten < 50 kWh/(m²a) liegt der Benchmark für den Verbrauch bei 39 kWh/(m²a). Die Verbrauchswerte übersteigen ihre zugehörigen Bedarfswerte typischerweise um 53 %, absolut wird diese Abweichung auf 15 kWh/(m²a) beziffert.

²⁰² Die Grundlage des Fragebogens stellte das Kurzverfahren-Energieprofil (KVEP) dar.

²⁰³ inkl. zwei Dokumentationen von Sanierungsprojekten.

Die Klasse C liegt hingegen 11 %, Klasse D um 16 % unter dem rechnerischen Wert. Absolut betrachtet sind das Minderverbräuche von 13 kWh/(m²a) in Klasse C bzw. 23 kWh/(m²a) in Klasse D. Alle Werte und Charakteristika der Bedarfsklassen sind in Tabelle 32 aufgeführt.

Tabelle 32: Benchmarks, Merkmale und Abweichungen²⁰⁴

Effizienzklasse	Bedarfswert	charakteristische Merkmale	Benchmark Verbrauch	Median Verbrauch	charakteristische Abweichung	
					relativ	absolut
		(Lüftung/Gebäudehülle)				
	kWh/(m²a)		kWh/(m²a)	kWh/(m²a)	%	kWh/(m²a)
A	< 50	Zu- und Abluftanlage, vollständig/ hochwertig sanierte Gebäudehülle	39	41	53,48	14,64
C	90 - 130	freie Lüftung, vollständig gedämmte Gebäudehülle	83	91	-11,15	-13,13
D	> 130	Abluftanlage, vollständig (ohne Fenster) und teilweise gedämmte Gebäudehülle	113	123	-15,69	-23,37

alle Angaben bezogen auf Wohnfläche, Brennwert, Heizung inkl. Warmwasser

Um die Effizienz und damit den Erfolg einer energetischen Sanierungsmaßnahme beurteilen zu können, wurden verschiedene weitere Verfahren untersucht. Neben der Möglichkeit der Einordnung des Verbrauchswertes in größere Energiekennzahlverteilungen können anhand charakteristischer Abweichungen bereits erste Annäherungen zwischen Bedarfs- und Verbrauchswert erreicht werden. Durch eine Fehlerbetrachtung wurde untersucht, wie sich die nutzerbedingte Spanne der Eingabedaten (z.B. Raumtemperatur und Luftwechsel) auf den Endenergiebedarf auswirkt. Bei den rechnerisch besten Gebäuden resultiert der Einfluss dieser Größen in einer absoluten Unsicherheit von +/- 36 kWh/(m²a), bei Klasse C in +/- 67 kWh/(m²a) und in Klasse D 76 kWh/(m²a), die zugehörigen relativen Einflüsse lauten entsprechend 60 % (A), 30 % (C) und 25 % (D). Die Fehlerbetrachtung liefert damit einen Bereich, in dem bei den praktisch vorkommenden Unterschieden in der Nutzung die Verbrauchswerte erwartet werden können. In Kombination mit den ermittelten Verhältnissen aus Verbrauchs- zu Bedarfswerten können dynamische Anpassungsfaktoren für das TABULA-Rechenverfahren bereitgestellt werden, mit denen eine realistische Einschätzung des zu erwartenden Verbrauchs möglich ist (siehe Abbildung 24). Es zeigt sich, dass fast alle Verbrauchswerte innerhalb dieser Bandbreite liegen und damit die Streuung mit den nutzerbedingten Unterschieden erklären.

²⁰⁴ eigene Darstellung.

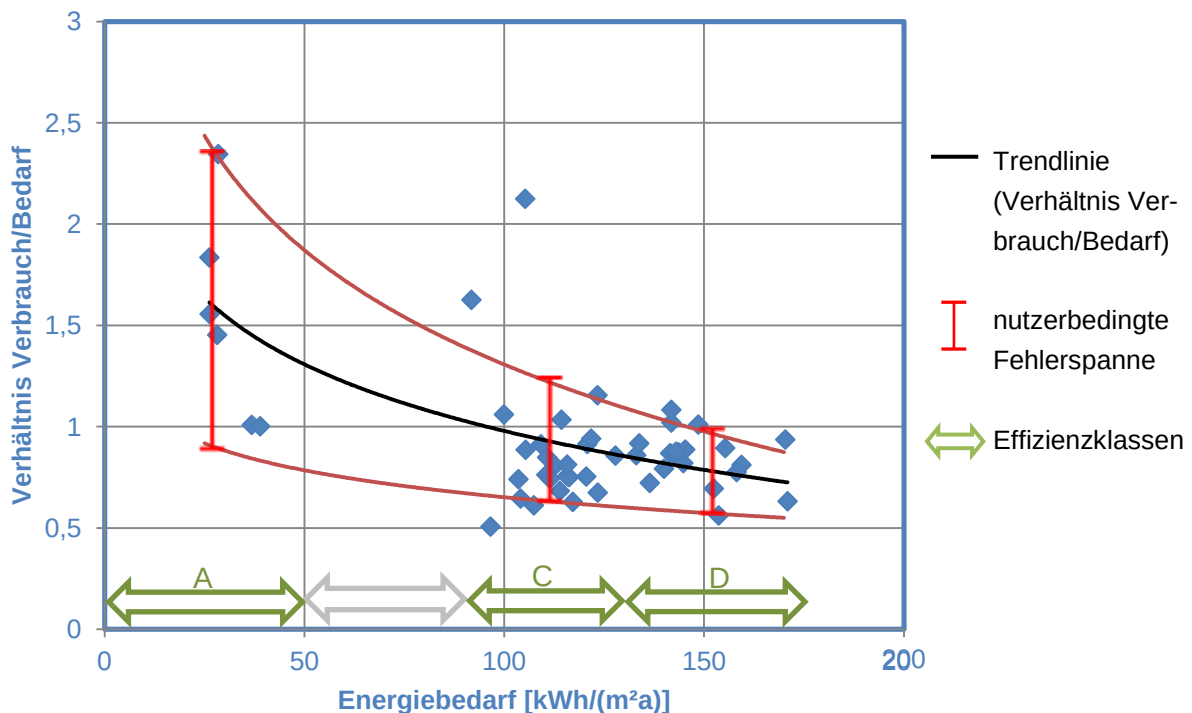


Abbildung 24: dynamische Verbrauchswertabschätzung mit Unschärfebereich²⁰⁵

Mit den Benchmarks und den Kalibrierungsfaktoren einschließlich dem Unschärfebereich steht ein Instrumentarium zur Verfügung, mit dem in Zukunft Wohnungsunternehmen den Erfolg der energetischen Modernisierung kontrollieren können. Beispielsweise würden die beiden Gebäude, die im Diagramm deutlich oberhalb des Erwartungsbereichs liegen, Anlass bieten, die tatsächliche Qualität der ausgeführten Maßnahmen sowie die Betriebsführung der Anlagentechnik zu überprüfen und damit eine Zielerreichung sicherzustellen. Die umfassende Darstellung der Einflussfaktoren rahmt die gesamte Methodik qualitativ ein und weist auf weitere Diskrepanzen und Fehlerquellen nicht nur in der Bedarfsrechnung, sondern auch in der Umsetzung vor Ort hin.

Durch die Zusammenführung der Daten zur rechnerischen energetischen Qualität mit den Verbrauchsdaten gelang es, Verbrauchs-Benchmarks als feste Zahlenwerte für Effizienzklassen zu ermitteln (Tabellenwerte). Darüber hinaus konnte durch die gefundenen Kalibrierungsfaktoren und Unsicherheitsbereiche in Zusammenhang mit dem TABULA-Bilanzverfahren eine Flexibilisierung in Form von "dynamischen Benchmarks" vorgenommen werden. Damit steht ein Werkzeug zur Verfügung, mit dem bei Mehrfamilienhäusern für jeden beliebigen anvisierten Zustand nach einer energetischen Mod
brauchsrichtwert sowie ein Erwartungsbereich des Verbrauchs angegeben werden kann.

²⁰⁵ eigene Darstellung.

Glossar

- **Benchmarking/Benchmark²⁰⁶**

„Benchmarking ist ein kontinuierlicher Prozess, bei dem Produkte, Dienstleistungen und insbesondere Prozesse und Methoden betrieblicher Funktionen über mehrere Unternehmen hinweg verglichen werden [...]. Dieser Prozess erfolgt mit dem Ziel, Unterschiede und Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen sowie wettbewerbsorientierte Zielvorgaben ableiten zu können. Mit Benchmark wird der in diesem Prozess gewonnene Vergleichspunkt bezeichnet.“ Charakteristika (u.a.): Vergleichsorientierung, Verbesserungsorientierung, Umsetzungsorientierung, Nachhaltigkeitsorientierung

- **Endenergie²⁰⁷**

„Energie, angegeben je Energieträger, die den gebäudetechnischen Anlagen durch die Bilanzgrenze zugeführt wird, um die berücksichtigten Bedarfe zu decken oder die exportierte Energie zu erzeugen.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Endenergie kann für festgelegte Energiebedarfe berechnet werden oder sie kann auch gemessen werden.“

- **Energieeffizienz eines Gebäudes²⁰⁸**

„berechnete oder gemessene Energiemenge, die erforderlich ist, um den mit einer typischen Gebäudenutzung [...] verbundenen Energiebedarf zu decken.“

- **rechnerische Energieeffizienz (eines Gebäudes)²⁰⁹ (hier: Bedarf)**

„Energiekennwert auf der Grundlage von Berechnungen der gewichteten Netto-Endenergie, die durch ein Gebäude für Heizung [...] [und] Trinkwarmwasser [...] verbraucht wird.“

- **tatsächlich gemessene Energieeffizienz²¹⁰ (hier: Verbrauch)**

„Energieeffizienz, die anhand von Ist-Daten zum Gebäude sowie von tatsächlichen Klima- und Belegungsdaten ohne Berichtigung für von der Standardnutzung und dem Normklima abweichende Bedingungen ermittelt wird.“

²⁰⁶ Riegler, 2006, S. 678 ff.

²⁰⁷ prEN ISO 52000-1, 2015, S. 18.

²⁰⁸ prEN ISO 52000-1, 2015, S. 22.

²⁰⁹ prEN ISO 52000-1, 2015, S. 20.

²¹⁰ prEN ISO 52000-1, 2015, S. 20.

Literaturverzeichnis

- 360report GmbH. (2015). *CSR-Berichtspflicht ab 2016*. Abgerufen am 17. November 2015 von 360report: <http://www.360report.org/de/artikel/csr-berichtspflicht-ab-2016.html>
- AGEB. (August 2015a). *Ausgewählte Effizienzindikatoren zur Energiebilanz Deutschland*. Abgerufen am 6. Dezember 2015 von <http://www.ag-energiebilanzen.de/38-0-Effizienzindikatoren.html>
- AGEB. (Juni 2015b). *Energieverbrauch in Deutschland - Daten für das 1.Halbjahr 2015*. Abgerufen am 26. Oktober 2015 von <http://www.ag-energiebilanzen.de/20-0-Berichte.html>
- Albers, K.-J. (Hrsg.). (2015a). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik* (Bd. I). München: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH.
- Albers, K.-J. (Hrsg.). (2015b). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik* (Bd. II). München: DIV Deutscher Industrieverlag GmbH.
- BDI. (23. Januar 2011). *Investor-Nutzer-Dilemma bei Investitionsentscheidungen zur energetischen Sanierung von Wohngebäuden*. Abgerufen am 27. Oktober 2015 von Energieeffiziente Gebäude BDI initiativ: <http://www.gebaeude-initiative.de/440.htm>
- Bednar, T., & Korjenic, A. (August 2014). IEA Energie in Gebäuden und Kommunen. Annex 53: Gesamtenergieverbrauch in Gebäuden. *Analysen und Bewertungsmethoden* (18/2014). Wien.
- Biermayr, P. (1998). Einflussparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte - Eine empirisch-ökometrische Analyse. *Dissertation*. Mayersdorf/TU Wien: betreut von Prof.Dr.Franz Wirl, Fakultät für Elektrotechnik.
- Bigalke, U., Discher, H., Lukas, H., Zeng, Y., Bensmann, K., & Stolte, C. (2012). *der dena-Gebäudereport 2012. Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur.
- BMWi & BMUB. (7. April 2015a). Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Daterverwendung im Wohngebäudebestand. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMWi & BMUB. (7. April 2015b). Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchskennwerte im Wohngebäudebestand. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie; Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.
- BMWi. (Berlin. Dezember 2014). Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz. *Mehr aus Energie machen*. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- BMWi. (2014). *Sanierungsbedarf im Gebäudebestand*. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).
- Cleff, T. (2015). Deskriptive Statistik und Explorative Datenanalyse. *Eine computergeschützte Einführung mit Excel, SPSS und STATA(3)*. Wiesbaden: SpringerGabler.

- Diefenbach, N., Loga, T., Gabriel, J., & Fette, M. (November 2011). Monitoring der KfW-Programme "Energieeffizient Sanieren" 2010 und "Ökologisch/Energieeffizient Bauen" 2006-2010. Institut Wohnen und Umwelt GmbH; Bremer Energie Institut.
- DIN V 18599 Beiblatt 2 - Wohngebäude. (Oktober 2009). *Energetische Bewertung von Gebäuden*. Normenausschuss Bauwesen (NABau).
- DIN V PAS 1027. (2004). Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand. *Ergänzung zur DIN V 4701-12 Blatt 1*. Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- EnEV. (November 2013). Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV). *Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung*. Bonn: Bundesgesetzblatt.
- EPISCOPE. (Oktober 2014). Inclusion of New Buildings in Residential Building Typologies. *Steps Towards NZEBs. Exemplified for Different European Countries, 1*. Institut Wohnen und Umwelt. Weitere Informationen unter <http://episcope.eu>.
- Erhorn, H. (15. Januar 2007). *Bedarf - Verbrauch: Ein Reizthema oder die Chance für sachliche Energieberatung?* Abgerufen am 28. Oktober 2015 von http://www.buildup.eu/da/system/files/Manuskript_Messe_Bau_2007_Erhorn_Bedarf-Verbrauch_15_01_07_p.pdf
- Europäisches Parlament und Rat der europäischen Union. (Juni 2010). Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. *Amtsblatt der Europäischen Union*.
- Felsmann, C., & Schmidt, J. (2013). *Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität*. Energietechnik, Maschinenwesen. Dresden: Technische Universität Dresden.
- Fisch, N., Altendorf, L., Kühl, L., Wilken, T., Brandt, E., & Gawron, T. (November 2012). Vergleichswerte für Verbrauch von Wohngebäuden. *BMVBS-Online-Publikation, 11*. (BMVBS, Hrsg.) Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
- Fronde, M., & Nolan, R. (2012). *Datenauswertung zum Energieverbrauch der privaten Haushalte differenziert nach Gebäudemerkmalen: Sonderauswertung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)*. Abgerufen am 19. Oktober 2015 von EconStar: <http://www.econstor.eu/handle/10419/72599>
- Gierga, M., & Staniszewski, A. (Mai 2014). EnEV 2014 - Leitfaden für Wohngebäude. Bonn: Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V.
- Greller, M., Schröder, F., Hundt, V., Mundry, B., & Papert, O. (2010). Universelle Energiekennzahlen für Deutschland - Teil 2: Verbrauchskennzahlentwicklung nach Baualtersklassen. *Bauphysik*, 32(1), S. 1-6.
- GRI. (2015). *G4 Sector Disclosures*. Abgerufen am 17. November 2015 von globalreporting: <https://www.globalreporting.org/standards/sector-guidance/sectorguidanceG4/Pages/default.aspx>

- Großklos, M. (Juli 2013). Wissenschaftliche Begleitung der Sanierung Rotlinstraße 116-128 in Frankfurt a.M. *Ergebnis der messtechnischen Erfolgskontrolle*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Hansen, A. R. (September 2015). The social structure of heat consumption in Denmark: New interpretations from quantitative analysis. *Energy Research & Social Science*, 11/2015, S. 109-118. Abgerufen am 15. Oktober 2015 von <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629615300542>
- HeizkostenV. (5. Oktober 2009). Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (Verordnung über Heizkostenabrechnung). Bundesministerium für Wirtschaft u. für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau.
- Hörner, M. (September 2015). Typologische Kenngrößen von Nichtwohngebäuden im Bestand - Querschnittsanalyse der TEK-Datenbank. Darmstadt: EnOB Forschung für Energieoptimiertes Bauen. Abgerufen am 23. Oktober 2015 von Institut Wohnen und Umwelt: [http://www.iwu.de/aktuelles/news-im-detail/?tx_ttnews\[tt_news\]=189&cHash=965c68043ae4277720f54690611442cd](http://www.iwu.de/aktuelles/news-im-detail/?tx_ttnews[tt_news]=189&cHash=965c68043ae4277720f54690611442cd)
- IWU. (09. Juni 2015). *Gradtagszahlen_Deutschland (MS Excel-Anwendung)*. Abgerufen am 03. Dezember 2015 von Institut Wohnen und Umwelt: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/werkzeuge/Gradtagszahlen_Deutschland.xls
- Jagnow, K., & Wolff, D. (2008). Teil 2: Technische Optimierung und Energieeinsparung. *Umweltkommunikation in der mittelständischen Wirtschaft am Beispiel der Optimierung von Heizungssystemen durch Information und Qualifikation zur nachhaltigen Nutzung von Energieeinsparpotenzialen*. Bremen.
- Knissel, J., & Großklos, M. (2011). Teilbericht 2: Theoretische Untersuchungen zur Druckdifferenz-Methode. *Entwicklung energieeffizienter Komfortlüftungsanlagen mit luftqualitätsgeführter Volumenstromregelung und kontinuierlicher Erfassung des Fensteröffnungszustandes*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Knissel, J., Alles, R., Born, R., Loga, T., Müller, K., & Stercz, V. (Juli 2006). Vereinfachte Ermittlung von Primärenergiekennwerten zur Bewertung der wärmetechnischen Beschaffenheit in ökologischen Mietspiegeln. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Kuß, A., Wildner, R., & Kreis, H. (2014). Marktforschung. *Grundlagen der Datenerhebung und Datenanalyse*, 5. Wiesbaden: SpringerGabler.
- Loga, T. (14. Dezember 2004). Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren. *Abschätzung der Heizgrenztemperaturen und Bilanzzeiten für das Heizperiodenbilanzverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Loga, T. (07. Mai 2015). TABULA-xlsm Excel Datenbank. *"Typology Approach for Building Stock Energy Assessment"*. Darmstadt.
- Loga, T., & Diefenbach, N. (January 2013). TABULA Calculation Method - Energy Use for Heating and Domestic Hot Water -. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.

- Loga, T., Diefenbach, N., Knissel, J., & Born, R. (28. Januar 2005). Kurzverfahren Energieprofil. *Entwicklung eines vereinfachten, statistisch abgesicherten Verfahrens zur Erhebung von Gebäudedaten für die Erstellung des Energieprofils von Gebäuden*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N., & Born, R. (10. Februar 2015). Deutsche Wohngebäudetypologie. *Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden, zweite erweiterte Auflage*. Darmstadt: Institut Wohnen und Umwelt GmbH.
- Merzkirch, A., Hoos, T., Maas, S., Scholzen, F., & Waldmann, D. (2014). Wie genau sind unsere Energiepässe? Vergleich zwischen berechneter und gemessener Endenergie in 230 Wohngebäuden in Luxemburg. *Bauphysik*, 36(1), S. 40-43.
- Michelsen, C. (2009). Energieeffiziente Wohnimmobilien stehen im Osten und Süden der Republik - Ergebnisse des ista-iwh-Energieeffizienzindex -. *Wirtschaft im Wandel*, 9, S. 380-388.
- Michelsen, C., & Müller-Michelsen, S. (2010). Energieeffizienz im Altbau: Werden die Sanierungspotenziale überschätzt? Ergebnisse auf Grundlage des ista-iwh-Energieeffizienzindex. *Wirtschaft im Wandel*(9), S. 447-455.
- Michelsen, C., & Rosenschon, S. (2012). Verordnet und gleich umgesetzt? Was die energetische Regulierung von Immobilien bisher tatsächlich gebracht hat - Ergebnisse auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex* -. *Wirtschaft im Wandel*, 18(12), S. 351-356.
- Michelsen, C., Rosenschon, S., & Barkholz, M. (2013). ista-iwh-Energieeffizienzindex 2012: Weiter auf dem Pfad der Einsparung! *Wirtschaft im Wandel*, 19(5), S. 87.
- Michelsen, C., Zumbro, T., & Claudy, M. (2012). Von "grünen Investitionen" und "glühenden Landschaften": Was sind die Treiber des Heizenergieverbrauchs in Mehrfamilienhäusern? - Ergebnisse auf Grundlage des ista-iwh-Energieeffizienzindex -. *Wirtschaft im Wandel*, 18(10), S. 300-307.
- prEN ISO 13790. (November 2007). Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling. CEN European Committee for Standardization.
- prEN ISO 52000-1. (Oktober 2015). Energieeffizienz von Gebäuden – Festlegungen zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden. *Teil 1: Allgemeiner Rahmen und Verfahren (ISO/DIS 52000-1:2015)*. DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).
- Raschper, N. (2010a). Nutzerverhalten verantwortet bis zu 30 Prozent höhere Energieverbräuche. *Die Wohnungswirtschaft*, 10, S. 82-83.
- Raschper, N. (2010b). Warum Verbrauchswerte und Bedarfsrechnungen voneinander abweichen. *Die Wohnungswirtschaft*, 11, S. 52-54.
- Riegler, C. (2006). Benchmarking. In *Wirtschaftslexikon: Das Wissen der Betriebswirtschaftslehre* (Bd. 2, S. 678-684). Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Rosenschon, S., Schulz, C., & Michelsen, C. (2011). Energetische Aufwertung vermieteter Mehrfamilienhäuser: Die kleinen Wohnungsanbieter tun sich schwer - Auswertungen

- auf Grundlage des ista-IWH-Energieeffizienzindex* -. *Wirtschaft im Wandel*, 17(4), S. 161-168.
- Santarius, T. (März 2012). *Der Rebound-Effekt: Über die unerwünschten Folgen der erwünschten Energieeffizienz*. Abgerufen am 22. November 2015 von EconStar: <http://www.econstor.eu/handle/10419/59299>
- Schröder, F., Engler, H. J., Boegelein, T., & Ohlwärter, C. (Oktober 2010). Spezifischer Heizenergieverbrauch und Temperaturverteilungen in Mehrfamilienhäusern - Rückwirkungen des Sanierungsstandes auf das Nutzerverhalten. *HLH Lueftung/Klima, Heizung/Sanitaer, Gebaeudetechnik*, 61(11), S. 22-25.
- Schröder, F., Greller, M., Hundt, V., Mundry, B., & Papert, O. (2009). Universelle Energiekennzahlen für Deutschland - Teil 1: Differenzierte Kennzahlverteilung nach Energieträger und wärmetechnischem Sanierungsstand. *Bauphysik*, 31(6), S. 393-402.
- Schröder, F., Papert, O., Boegelein, T., Navarro, H., & Mundry, B. (2014). Reale Trends des spezifischen Energieverbrauchs und repräsentativer Wohnraumtemperierung bei steigendem Modernisierungsgrad im Wohnungsbestand. *Bauphysik*, 36(6).
- Schulze Darup, B. (2010). *Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10*. Osnabrück/Nürnberg: Deutsche Bundesstiftung Umwelt.
- Selk, D. (März 2010). Unsere neuen Häuser verbrauchen mehr als sie sollten. *Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V. Kiel*, 239(1/10), 1-30.
- Selk, D., & Gniechwitz, T. (September 2009). Unsere alten Häuser sind besser als ihr Ruf. *Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.*, 238(1/09).
- Stolte, C., Marcinek, H., Bigalke, U., & Zeng, Y. (Januar 2013). Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizient sanierter Wohngebäude. *Begleitforschung zum dena-Modellvorhaben Effizienzhäuser*. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena).
- Stolte, C., Marcinek, H., Discher, H., Hinz, E., & Enseling, A. (März 2012). dena-Sanierungsstudie. Teil 2: Wirtschaftlichkeit energertischer Modernisierung in selbstgenutzten Wohngebäuden. *Begleitforschung zum dena-Projekt "Niedrigenergiehaus im Bestand"*. Berlin.
- Stumpf, M. (Januar 2014). Verhaltensänderungen und organisatorisch-technische Optimierungen - ein strakes Team bei der Energieeinsparung. Erfahrungen und Erkenntnisse aus psychologischen Studien zum Energienutzungsverhalten an Hochschulen. *Dissertation*. Freiburg im Breisgau/Universität Freiburg: betreut von Prof.Dr.Hans Spada, Fakultät Wirtschafts- und Verhaltenswissenschaften.
- Sunikka-Blank, M., & Galvin, R. (1. Juni 2012). *Introducing the prebound effect: the gap between performance and actual energy consumption*. Abgerufen am 19. Oktober 2015 von Building Research & Information: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09613218.2012.690952>
- Techem Energy Services GmbH. (2013). *Energiekennwerte 2013: Hilfen für den Wohnungswirt - Eine Studie von Techem*. Eschborn.

- v.Malottki, C. (11. Oktober 2011). *Die Integration energetischer Differenzierungsmerkmale in qualifizierte und grundsicherungsrelevante Mietspiegel*. Abgerufen am 16. November 2015 von Institut Wohnen und Umwelt: <http://www.iwu.de/downloads/fachinfos/energie-und-wohnungspreise/>
- VDI 3807 Blatt 2. (November 2014). Verbrauchskennwerte für Gebäude: Verbrauchskennwerte für Heizenergie, Strom und Wasser. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- Vogler, I. (2014). Untersuchung von mittel- und langfristigen Auswirkungen verschiedener Energie-Einsparstrategien von Wohnungsunternehmen auf die Wohnkosten. *Dissertation*. Kassel/Universität Kassel: betreut von Prof.Dr.-Ing. Anton Maas, Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung. Abgerufen am 19. Oktober 2015 von <https://kobra.bibliothek.uni-kassel.de/handle/urn:nbn:de:hebis:34-2014120146575?mode=full>
- Zensus. (Januar 2014). Gebäude- und Wohnungsbestand in Deutschland. *Erste Ergebnisse der Gebäude- und Wohnungszählung 2011*. Hannover: Statistische Ämter des Bundes und der Länder (Hrsg.).

Anhang A-1: Flächenschätzverfahren

Tabelle 33: Eingabedaten Flächenschätzung²¹¹

Größe	Kürzel	Erläuterung
Anzahl Vollgeschosse	n_{storey}	Hier wird die Anzahl der Vollgeschosse nachgefragt, ohne Berücksichtigung von Keller- oder Dachgeschossen, auch wenn diese Wohnräume enthalten. Diese werden später durch Zuschlagsfaktoren hinzugerechnet. Die Abhängigkeiten der Bauteilflächen (außer Fenster) beziehen sich jeweils nur auf ein Geschoss, weswegen die „Wohnfläche pro Geschoss“ als Basisparameter herangezogen wird ($A_{C/storey}$) Sie ist repräsentativ für die Gebäudegröße und in der Regel auch Grundlage für die Heizkostenabrechnung. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass sie nach gesetzlichen Vorschriften ermittelt wurde und auch bei größeren Gebäudebeständen vorliegt. Die Ausbausituationen in Keller und Dachgeschoss haben zusätzlich Einfluss auf diesen Ausgangswert. Dividiert man diesen durch die Geschosshöhe, erhält man ein Maß für die horizontale Ausdehnung des Gebäudes.
beheizte Wohnfläche	$A_{C,ref}$	→ die in der EnEV verwendete Gebäudenutzfläche A_N ist in der Regel um 25% größer als die beheizte Wohnfläche. ²¹²
Baualtersklasse		Durch Angabe des Baujahres ergibt sich eine Einteilung in eine bestimmte Baualtersklasse (-> Gebäudetypologie) quadratisch, kompakt, gestreckt/gewinkelt/komplex
Grundrisstyp	$C_{complex,footprint}$	Gebäude, deren Länge die dreifache Breite übersteigt, gelten als „gestreckt“. Grundlage dieser Basisvariable ist die Annahme, dass langgestreckte/verwinkelte Grundrisse tendenziell eine größere Fassadenfläche zur Folge haben.
Anbausituation	$C_{neighbour}$	freistehend, einseitig angebaut, zweiseitig angebaut Auch dieser Parameter hat maßgeblichen Einfluss auf die Größe der Fassadenfläche Flachdach, DG nicht beheizt, DG teilweise beheizt, DG voll beheizt
Dachgeschosstyp	$C_{attic,cond}$	Um die eingeschränkte Nutzbarkeit vorhandener teil- oder vollbeheizter Dachräume zu berücksichtigen, wird hier für die nutzbaren Flächenanteile ein Standardwert von 0,75 ermittelt. Dieser geht, wie es ebenfalls in der DIN 277 für Nutzflächen angesetzt wird, davon aus, dass nur Flächen mit einer lichten

²¹¹ eigene Darstellung; Daten entnommen aus Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-6 ff./I-27.

²¹² vgl. Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. III-9.

		Raumhöhe über 1,5m als nutzbar gelten. Abhängig von der Art des Daches korrelieren die Dachflächen stark mit der Wohnfläche pro Geschoss
Kellergeschosstyp	$C_{cellar,cond}$	nicht unterkellert, KG nicht beheizt, KG teilweise beheizt, KG voll beheizt Dieser Parameter ist ebenfalls abhängig von der Wohnfläche/Geschoss und bezieht sich auf die Bruttogrundfläche eines Vollgeschosses. Aus dieser Proportionalität ergibt sich ein Parameter von 1,2.
lichte Raumhöhe	$h_{ceiling}$	Der Standardwert liegt hier bei 2,5m. Durch abweichende Raumhöhen von <2,30 m und >2,7 m ergibt sich allerdings eine systematische Abweichung von 5 %, diese kann mit Nachfrage dieser Größe vermieden werden.
Gauben/ andere Dachaufbauten	$C_{complex,roof}$	Da Gauben hohe zusätzliche Verluste generieren (20-40%), werden diese ebenfalls nachgefragt. Da diese ebenfalls eine vergrößerte Hüllfläche von 10-30% zur Folge haben, muss dieser bei der Flächenschätzung des Daches und der Außenwände berücksichtigt werden. Der Pauschalwert wird hier mit 1,3 beziffert.

Berechnungsansatz²¹³

Berechnungsansatz: einzelnen Bauteilflächen setzen sich aus charakteristischem Parameter p für die „Bauteilfläche pro m² Geschosswohnfläche“ und einem Flächenzuschlag q zusammen. Während p einen Zusammenhang zwischen der jeweiligen Bauteilfläche und der „Wohnfläche je Geschoss“ widerspiegelt, ist der Bauteilflächenzuschlag q unabhängig von der Gebäudegröße.

$$A_{envelope\ area\ section} = p * A_{C/storey} + q \quad [m^2]$$

mit	$A_{envelope\ are\ section}$	Fläche des betreffenden Bauteils	[m ²]
	$A_{C/storey}$	Basisvariable „Wohnfläche pro Geschoss“	[m ²]
	p	Parameter „Bauteilfläche pro m ² Geschosswohnfläche“	[m ² /m ²]
	q	Parameter „Bauteilflächenzuschlag pro Geschoss“	[m ²]

Tabelle 34: Basis Parameter²¹⁴

					roof		upper ceiling	
envelope area section	dependin g on variable	category (TABULA code)	specification	$f_{attic,cond}$	p [m ² /m ²]	q [m ²]	p [m ² /m ²]	q [m ²]

²¹³ Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. I-18.

²¹⁴ Loga, 2015, S. Tab.Par.EnvAreaEstim.

roof/upper ceiling	$A_{C/storey}$	-	flat roof (no attic)	0	1,2	5		
		N	attic not conditioned	0			1,2	5
		P	attic partly conditioned	0,5	0,8	7	0,6	3
		C	attic completely conditioned	1	1,6	15		
		NI	attic not cond., insulated*	0	1,6	15		
		PI	attic partly cond., insulated*	0,5	1,6	15		

envelope area section	dependin g on variable	category (TABULA code)	specification	p [m ² /m ²]	q [m ²]
window	$A_{C,ref}$			0,18	
door	$A_{C,ref}$			0,01	1,5
gross wall (walls + windows)	$A_{C,ref}$	B_Along	0 neighbour	0,7	50
		B_N1	1 neighbour		25
		B_N2	2 neighbours		5
ground floor	$A_{C/storey}$			1,2	5

*) attic not or partly conditioned, thermal envelope in the plain of the roof area

Aus den Basisdaten zur Komplexität von Grundriss und Dachgestalt werden verschiedene Zuschlagswerte für die Bauteile Außenwand und Dach abgeleitet:

Tabelle 35: Betrachtung der Komplexität²¹⁵

envelope area section	category (TABULA code)	specification	$f_{complex}$
roof	simple	simple roof shape	0,9
	standard	usual roof shape (or: information not available)	1,0
	complex	roof with several dormers or other complex shape	1,2
gross wall (walls + windows)	simple	simple square-type footprint shape	0,9
	standard	usual footprint shape (or: information not available)	1,0
	complex	building footprint is very complex or significantly stretched	1,2

²¹⁵ Loga, 2015, S. Tab.Par.EnvAreaEstim.

Anhang A-2: U-Werte

Tabelle 36: U-Werte nach Baualtersklasse²¹⁶

Construction			Roof			UpperCeiling			Wall			Floor		
Year Class	First Year	Last Year	De- fault	Mas sive	Woo den	De- fault	Mas sive	Woo den	De- fault	Mas sive	Woo den	De- fault	Mas sive	Woo den
			W/(m ² K)											
DE. 01	0	1859	2,60	2,10	2,60	1,00	2,10	1,00	1,70	1,70	2,00	1,20	1,20	1,20
DE. 02	1860	1918	2,60	2,10	2,60	1,00	2,10	1,00	1,70	1,70	2,00	1,20	1,20	1,00
DE. 03	1919	1948	1,40	2,10	1,40	0,80	2,10	0,80	1,70	1,70	2,00	1,20	1,20	0,80
DE. 04	1949	1957	1,40	2,10	1,40	2,10	2,10	0,80	1,40	1,40	1,40	1,50	1,50	0,80
DE. 05	1958	1968	1,40	2,10	1,40	2,10	2,10	0,80	1,40	1,40	1,40	1,00	1,00	0,80
DE. 06	1969	1978	0,80	0,60	0,80	0,60	0,60	0,60	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	0,60
DE. 07	1979	1983	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,40	0,80	0,80	0,50	0,80	0,80	0,60
DE. 08	1984	1994	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,30	0,60	0,60	0,40	0,60	0,60	0,40
DE. 09	1995	2001	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50	0,40	0,60	0,60	0,40
DE. 10	2002	2009	0,23	0,23	0,23	0,30	0,30	0,24	0,34	0,34	0,20	0,33	0,33	0,33
DE. 11	2010	2015	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20
DE. 12	2016	9999	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,17	0,17	0,17	0,20	0,20	0,20

²¹⁶ Loga, 2015, S. Tab.U.Class.Constr.

Anhang A-3: Randbedingungen Anlagentechnik

Tabelle 37: Randbedingungen der Ermittlung der Kennwerte der Anlagentechnik²¹⁷

Klima	Standardklima Deutschland
Heizgrenztemperatur	12 °C
Länge der Heizzeit	275 d/a
Bereitstellungszeit für Trinkwarmwasser	365 d/a
Nachtabschaltung Heizwärmeverteilung *	4 h/d
mittlere Umgebungstemperatur	
innerhalb der thermischen Hülle	20 °C
außerhalb der therm. Hülle (Keller, Dach)	13 °C
Temperatur Verteilung Heizwärme	
Auslegungstemperatur (Vorlauf/Rücklauf)	70 / 55 °C
Mitteltemperatur über Heizzeit	
typischer Betrieb (fÜ,HK = 1,2)	50 °C
EnEV + Qualitätssicherung	46 °C
mittlere Temperatur Verteilung Trinkwarmwasser	
mit Zirkulation	50 °C
ohne Zirkulation	32 °C
ohne Zirkulation bei nicht gedämmten Zapfleitungen (UR > 1 W/(m·K))	26°C
Baualtersklassen*	vor 1978 1978 bis 1986 1987 bis 1994 ab 1995

*) entsprechen den Baualtersklassen in DIN V PAS 1027 von 2004

²¹⁷ Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. III-8.

Anhang A-4: Berechnungsverfahren TABULA²¹⁸

Heizwärmebedarf

Energiebedarf des Gebäudes

$$Q_{H,nd} = Q_{ht} - \eta_{h,gn} * Q_{H,gn} \quad [\text{kWh/a}] \quad (1)$$

mit	$Q_{H,nd}$	Jahresheizenergiebedarf	[kWh/a]
	Q_{ht}	absoluten Wärmeverluste in der Heizperiode, siehe Gleichung (2)	[kWh/a]
	$\eta_{h,gn}$	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne, siehe Gleichung 10	[kWh/a]
	$Q_{H,gn}$	absoluten Wärmegewinne in der Heizperiode, siehe Gleichung 7	[-]

die gesamten **Wärmeverluste** während der Heizzeit

$$Q_{ht} = Q_{ht,tr} + Q_{ht,ve} \quad [\text{kWh/a}] \quad (2)$$

$$= 0,024 \frac{kh}{d} * (H_{tr} + H_{ve}) * F_{nu} * (\vartheta_{int} - \vartheta_e) * d_{hs}$$

mit	$Q_{ht,tr}$	absolute Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle in der Heizperiode	[kWh/a]
	$Q_{ht,ve}$	absoluten Lüftungswärmeverluste in der Heizperiode	[kWh/a]
	H_{tr}	temperaturspezifischer Transmissionswärmeverlust siehe Gleichung 2	[W/K]
	H_{ve}	temperaturspezifischer Lüftungswärmeverlust, siehe Gleichung 5	[W/K]
	F_{nu}	Korrekturfaktor für zeitlich und räumlich eingeschränkte Beheizung (z.B. abweichendes Heizverhalten, Nachtabsenkung) siehe Gleichung 14	[-]
	ϑ_{int}	Innenraumtemperatur/ Raumsolltemperatur Standardwert = 20°C	[°C]
	ϑ_e	mittlere Außentemperatur in der Heizperiode, siehe Gleichung 28	[°C]
	d_{hs}	Länge der Heizperiode, siehe Gleichung 27	[d/a]

Wärmeverluste durch Transmission

$$Q_{ht,tr} = 0,024 \frac{kh}{d} * H_{tr} * F_{nu} * (\vartheta_{int} - \vartheta_e) * d_{hs} \quad [\text{kWh/a}] \quad (3)$$

²¹⁸ Loga & Diefenbach, 2013, S. 7 ff.

Transmissionsverluste über die Gebäude-Hülle

$$H_{tr} = \sum_i b_{tr,i} * A_{env,i} * U_{eff,i} + \left(\sum_i A_{env,i} \right) * \Delta U_{tbr} \quad [\text{W/K}] \quad (4)$$

mit	$b_{tr,i}$	Temperaturkorrekturfaktor	[-]
	$A_{env,i}$	Fläche des Bauteils i	[m ²]
	$U_{eff,i}$	effektiver U- Wert des Bauteils i	[W/(m ² K)]
	ΔU_{tbr}	Wärmebrückenkorrekturfaktor über die gesamte Gebäudehülle	[W/(m ² K)]
		- minimal: 0	
		- niedrig: 0,05	
		- medium: 0,1	
		- hoch: 0,15	

effektive U-Werte

$$U_{eff,i} = \frac{1}{R_{eff,i}} = \frac{1}{R_{0,i} + R_{measure,i} + R_{add,i}} = \frac{1}{\frac{1}{U_{0,i}} + \frac{d_{ins,i}}{\lambda_{ins,i}} + R_{add,i}} \quad [\text{W/(m}^2\text{K)}] \quad (5)$$

mit	$U_{eff,i} \text{ \& } R_{eff,i}$	effektiver U-Wert und effektiver Wärmewiderstand des Bauteils i	[W/(m ² K)] & [(m ² K)/W]
	$U_{0,i} \text{ \& } R_{0,i}$	U-Wert und Wärmewiderstand des ursprünglichen (ungedämmten) Bauteils i, berechnet nach EN ISO 6946	[W/(m ² K)] & [(m ² K)/W]
	$R_{measure,i}$	zusätzlicher Wärmewiderstand durch die Sanierungsmaßnahme am Bauteil i	[(m ² K)/W]
	$d_{ins,i}$	Dicke der neuen Dämmung	[m]
	$\lambda_{ins,i}$	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes auf Bauteil i	[W/(mK)]
	$R_{add,i}$	zusätzlicher Wärmewiderstand abhängig vom angrenzenden Bereich des Bauteils i	[(m ² K)/W]

Lüftungswärmeverluste

$$Q_{ht,ve} = 0,024 \frac{kh}{d} * H_{ve} * F_{nu} * (\vartheta_{int} - \vartheta_e) * d_{hs} \quad [\text{kWh/a}] \quad (6)$$

Wärmeverlustkoeffizient der Lüftung

$$H_{ve} = c_{p,air} * (n_{air,use} - n_{air,infiltr}) * A_{C,ref} * h_{room,ve,ref} \quad [\text{W/K}] \quad (7)$$

mit	$c_{p,air}$	spezifische Wärmekapazität der Luft Standardwert = 0,34 Wh/(m ³ K)	[Wh/(m ³ K)]
	$n_{air,use}$	durchschnittliche Luftwechselrate in der Heizperiode abhängig von der Gebäudenutzung Standardwert = 0,4 1/h	[1/h]

$n_{air,infiltr}$	Luftwechselrate durch Infiltration - minimal: 0,05 1/h - niedrig: 0,1 1/h - medium: 0,2 1/h - hoch: 0,4 1/h	[1/h]
$A_{C,ref}$	Referenzfläche/ Wohnfläche des Gebäudes	[m ²]
$h_{room,ve,ref}$	Raumhöhe/ Referenzhöhe für die Lüftung	[m]

Wärmegewinne (intern und solar):

$$Q_{H,gn} = Q_{sol} + Q_{int} \quad [\text{kWh/a}] \quad (8)$$

Interne Gewinne während der Heizzeit:

$$Q_{int} = 0,024 \frac{kh}{d} * \varphi_{int} * d_{hs} * A_{C,ref} \quad [\text{kWh/a}] \quad (9)$$

mit	φ_{int}	durchschnittlicher Wärmeausstoß der internen Wärmequellen Standardwert = 3 W/m ²	[W/m ²]
	d_{hs}	Länge der Heizperiode, siehe Gleichung 27	[d/a]
	$A_{C,ref}$	Referenzfläche/ Wohnfläche des Gebäudes	[m ²]

Solare Gewinne während der Heizzeit:

$$Q_{sol} = F_{sh} * (1 - F_F) * F_W * g_{gl,n} * \sum_j A_{window,j} * I_{sol,j} \quad [\text{kWh/a}] \quad (10)$$

mit	F_{sh}	Reduktionsfaktor durch Beschattung Standardwert vertikal = 0,6 Standardwert horizontal = 0,8	[-]
	F_F	Reduktionsfaktor Rahmen/ Rahmenanteil Standardwert vertikal = 0,3	[-]
	F_W	Reduktionsfaktor für nicht senkrechten Lichteinfall Standardwert vertikal = 0,9	[-]
	$g_{gl,n}$	vertikaler Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	[-]
	$A_{window,j}$	Fensterfläche mit der Orientierung j	[m ²]
	$I_{sol,j}$	Globalstrahlung auf eine Fläche mit der Orientierung j	[m ²]

wenn mehrere Fenster (1...j) vorhanden sind:

$$g_{gl,n} = \frac{\sum_j g_{gl,n,window,j} * A_{window,j}}{\sum_j A_j} \quad [-] \quad (11)$$

Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne:

$$\eta_{h,gn} = \frac{1 - \gamma^{a_H}}{1 - \gamma^{a_H+1}} \quad [\text{kWh/a}] \quad (12)$$

Wärmebilanz- Verhältnis in der Heizzeit und der Parameter a für Heizperiodenbilanzverfahren:

$$\gamma_{h,gn} = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{ht}} \quad [\text{kWh/a}] \quad (13)$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (14)$$

mit	$Q_{H,gn}$	absoluten Wärmegewinne in der Heizperiode, siehe Gleichung 7	[kWh/a]
	Q_{ht}	absoluten Wärmeverluste in der Heizperiode, siehe Gleichung (2)	[kWh/a]
	τ	Zeitkonstante des Gebäudes	[h]
	$a_{H,0}$	Konstante Standartwert = 0,8 (gemäß EN 13790)	[-]
	$\tau_{H,0}$	Konstante Standartwert = 30 h (gemäß EN 13790)	[h]

Zeitkonstante:

$$\tau = \frac{c_m * A_{C,ref}}{H_{tr} + H_{ve}} \quad [\text{kWh/a}] \quad (15)$$

mit	c_m	interne Wärmespeicherkapazität Standardwert = 45 Wh/(m²K)	[Wh/(m²K)]
	H_{tr}	temperaturspezifischer Transmissionswärmeverlust siehe Gleichung 4	[W/K]
	H_{ve}	temperaturspezifischer Lüftungswärmeverlust, siehe Gleichung 7	[W/K]
	$A_{C,ref}$	Referenzfläche/ Wohnfläche des Gebäudes	[m²]

Wärmeerzeugung

Warmwasserzeugung (Domestic Hot Water – DHW)

Der Energieverbrauch Wärmeerzeuger i für das Warmwasser wird berechnet mit:

$$q_{del,w,i} = \alpha_{nd,w,i} * q_{g,w,out} * e_{g,w,i} \quad [\text{kWh/(m²a)}] \quad (16)$$

mit	$\alpha_{nd,w,i}$	Anteil der Wärmeerzeugung des Erzeugers i	[-]
	$q_{g,w,out}$	Wärmeproduktion(Output) des Erzeugers i, siehe Gleichung 17	[kWh/(m²a)]
	$e_{g,w,i}$	Aufwandszahl des Erzeugers i (Tabellenwert)	[-]

die Wärmeproduktion aller Wärmeerzeuger ist der Wärmebedarf des Wärmeerzeugers zuzüglich der Wärmeverluste für Speicherung und Verteilung:

$$q_{g,w,out} = q_{nd,w} + q_{d,w} + q_{s,w} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (17)$$

mit	$q_{nd,w}$	jährlicher Energiebedarf zur Warmwasserproduktion (useful heat)	[kWh/(m²a)]
	$q_{d,w}$	jährliche Wärmeverluste des DHW- Verteilungssystems (Tabellenwert)	[kWh/(m²a)]
	$q_{s,w}$	jährliche Wärmeverluste der DHW- Speicherung (Tabellenwert)	[kWh/(m²a)]

Der Anteil der Wärmeverluste der innerhalb der thermischen Hülle produziert wird, ist während der Heizzeit wiedergewinnbar (Heizwärmegutschrift):

$$q_{w,h} = q_{g,w,h} + q_{s,w,h} + q_{d,w,h} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (18)$$

mit	$q_{g,w,h}$	wiedergewinnbare Wärme des Wärmeerzeugers Standartwert (vereinfachend) = 0 kWh/(m²a)	[kWh/(m²a)]
	$q_{s,w,h}$	wiedergewinnbare Wärme der DHW- Speicher- verluste (Tabellenwert)	[kWh/(m²a)]
	$q_{d,w,h}$	wiedergewinnbare Wärme der DHW- Verteilungs- verluste (Tabellenwert)	[kWh/(m²a)]

Heizung (Heating System)

Energiebedarf des Heizsystems:

$$q_{del,h,i} = \alpha_{nd,h,i} * q_{g,h,out} * e_{g,h,i} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (19)$$

mit	$\alpha_{nd,h,i}$	Anteil der Wärmeerzeugung des Erzeugers i	[-]
	$q_{g,h,out}$	Wärmeproduktion(Output) des Erzeugers i, siehe Gleichung 20	[kWh/(m²a)]
	$e_{g,h,i}$	Aufwandszahl des Erzeugers i (Tabellenwert)	[-]

Die Heizleistung des Heizsystems: Wärmeerzeuger + Wärmeverluste für Verteilung und Speicherung (insofern ein Speicher installiert ist)

$$q_{g,h,out} = q_{nd,h} - \eta_{h,gn} * (q_{w,h} + q_{ve,h,rec}) + q_{d,h} + q_{s,h} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (20)$$

mit	$q_{nd,h}$	jährlicher Energiebedarf zur Beheizung (useful heat)	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$
	$\eta_{h,gn}$	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne, vereinfachend wird der beim Wärmebedarfs bestimmte Wert verwendet siehe Gleichung 10	$[-]$
	$q_{w,h}$	Heizwärmegutschrift des DHW- Systems, siehe Gleichung 18	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$
	$q_{ve,h,rec}$	Heizwärmegutschrift der Lüftungsanlage, siehe Gleichung 21	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$
	$q_{d,h}$	effektiver Wärmeverlust der Heizungsverteilung (Tabellenwert)	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$
	$q_{s,h}$	effektiver Wärmeverlust der Heizungsspeicherung (Tabellenwert)	$[\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})]$

der „effektive“ Wärmeverlust betrachtet den Teil der Wärmeverluste, die den jährlichen Heiz-Energieverbrauch nicht reduzieren

$$q_{ve,h,rec} = \eta_{ve,rec} - q_{ht,ve} \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})] \quad (21)$$

mit	$\eta_{ve,rec}$	Wärmerückgewinnungsgrad des Lüftungssystems	$[-]$
	$q_{ht,ve}$	jährlichen Lüftungswärmeverluste, siehe Gleichung 6	

Anhang B: Fragebogen

Tabelle 38: Fragebogen Deckblatt²¹⁹

Erhebung des Energiebedarfs und - Verbrauchs modernisierter Mehrfamilien- häuser

Im ersten Schritt möchte ich **VIELEN DANK** dafür sagen, dass Sie bereit sind, sich mit diesem Thema zu befassen.

Ziel

- detaillierte Übersicht der rechnerisch ermittelten Bedarfswerte und der real gemessenen Verbräuche
- Beurteilung, wie effizient die Modernisierungsmaßnahmen (auch im Vergleich zu ähnlichen Objekten) tatsächlich waren
- Feststellung der Vielverbraucher und die Gründe hierfür

Aufbau

Die Arbeitsblätter untergliedern sich in verschiedene Detailtiefen, je nachdem wie viel Zeit Sie investieren möchten. Mir ist bewusst, dass jede Angabe für Sie mit Aufwand verbunden ist, doch je umfangreicher Ihre Angaben sind, desto genauer können der Energiebedarf berechnet und die Einflussgrößen ermittelt werden. Für jede Mehr-Angabe und jeden zusätzlichen Eintrag bin ich Ihnen im Voraus bereits sehr dankbar.

Die **rötlich** markierten Arbeitsblätter sind für eine -Bedarf-Verbrauch-Berechnung und den zugehörigen Abgleich notwendig.

Arbeitsblatt	Inhalt
Gebäude & Anlage	- Allgemeine Daten des Gebäudes, wie z.B. Geschosszahl oder Baujahr - Konstruktionsart und Dämmung der Außenbauteile - Anlagentechnik bezüglich Heizsystem (z.B. zentrale oder raumweise Beheizung) und Warmwasseraufbereitung - Angaben zur Lüftungsanlage und Solarthermische/PV-Anlagen - Angaben zu Wärmebrücken und Gebäudedichtheit
Verbrauch	Angaben zu den realen und abgerechneten Verbrauchswerten von 3 aufeinanderfolgenden Jahren
Details	Flächen und U-Werte der Außenbauteile

²¹⁹ eigene Darstellung.

Zusatzdaten	- Allgemein zum Projekt - Allgemeine Angaben zum Gebäude - Wohnfläche - Bewohner und Nutzung - Anlagentechnik - Verbrauchsmessung
Erläuterungen	Beschreibungen einiger grundlegenden Angaben zum genaueren Verständnis

Das Arbeitsblatt mit den Zusatzdaten stellt einen Hauptbereich meiner Forschungsaufgabe dar. Er beschreibt Ansatzpunkte, die möglicherweise erhebliche Auswirkungen auf den Energieverbrauch mit sich bringen, in standardisierten Erhebungsverfahren für Energieausweise aber nicht nachgefragt werden. Mit Hilfe dieser Zusatzgrößen wird die Entwicklung einer Methodik angestrebt, die auch Wohnungsunternehmen dabei unterstützen kann, das Erreichen ihrer Klimaschutzziele auf einfachem Wege zu überprüfen.

Zellentypen

test	Eingabezelle
	Eingabe aus einer Auswahlliste
	-> davon abweichende Angaben , mehrere Zahlen und zusätzliche Vermerke sind dennoch möglich
test	Kommentarzelle, dient als schnelle Information zur nachgefragten Angabe
Ort	Angabe zum Inhalt der Eingabezelle
Straße	Zelle mit Bezug auf andere Blätter, wird automatisch ausgefüllt

Tabelle 39: Fragebogen ‚Gebäude&Anlage‘ (Arbeitsblatt 1)²²⁰

Fragebogen Kurzverfahren Energieprofil			
ObjektNummer			1
Datum:			
Allgemeine Daten			
	Straße		
	Hausnummer		
	Postleitzahl		
	Ort		
	optional: Adresszusatz (z.B. Hinterhaus)		
	Verwalter		
	Unternehmensinterne Identifikation		
	Datum der letzten Änderung der Gebäudedaten		
	Anzahl Vollgeschosse		
	Anzahl Wohnungen		
	beheizte Wohnfläche	m ²	
	Baujahr	[Jahr]	
	lichte Raumhöhe	1 - niedrig (unter 2,30 m) 2 - normal (2,30 m bis 2,70 m) 3 - hoch (2,70 m bis 3,20 m) 4 - sehr hoch (über 3,20 m)	
	direkt angrenzende Nachbargebäude	0 - keins 1 - auf einer Seite 2 - auf zwei Seiten	
	Grundriss	1 - sehr kompakt (quadratisch) 2 - normal (Rechteck, max. 3xBreite) 3 - sehr komplex oder langgestreckt	
	Dach	1 - Flachdach/ flach geneigtes Dach 2 - Dachgeschoss unbeheizt 3 - Dachgeschoss unbeheizt, Dachfläche gedämmt 4 - Dachgeschoss teilweise beheizt	Dachfläche bezieht sich jeweils auf die Dachhaut selbst, nicht auf die zugehörige Bodenfläche des Dachgeschosses.

²²⁰ eigene Darstellung; angelehnt an Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. IV-3.

		5 - Dachgeschoss teilweise beheizt, Dachfläche komplett gedämmt 6 - Dachgeschoss voll beheizt		
	Dachgauben oder andere Dachaufbauten vorhanden	0 - Nein 1 - Ja		
	Keller	1 - nicht unterkellert 2 - Kellergeschoss unbeheizt 3 - Kellergeschoss unbeheizt, Kellerwände &-Fußboden gedämmt 4 - Kellergeschoss teilweise beheizt 5 - Kellergeschoss teilweise beheizt, Kellerwände &-Fußboden komplett gedämmt 6 - Kellergeschoss voll beheizt		
Konstruktionsart und nachträgliche Dämmung				
Dach	Konstruktionsart	1 - Massiv 2 - Holz		
	Dach-Dämmung	0 - nicht vorhanden 1 - originale/ ursprüngliche Dämmung 2 - ursprüngliche Dämmung + neue Dämmung im Rahmen einer Sanierung 3 - Dämmung im Rahmen einer Sanierung (alte Dämmung entfernt) 4 - nicht bekannt		
	Dicke der Dämmung	cm		
	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	W/mK 1 - ≤ 0,030 2 - 0,035 3 - 0,040 4 - 0,045 5 - ≥ 0,050		
	Flächenanteil der Dämmung	% 1 - 100% 2 - 75% 3 - 50% 4 - 25% 5 - 0%		
	Jahr der Dämmmaßnahme	[Jahr]		
Oberste Geschossdecke	Konstruktionsart	1 - Massiv 2 - Holz		
	Geschossdecken-Dämmung	0 - nicht vorhanden 1 - originale/ ursprüngliche Dämmung 2 - ursprüngliche Dämmung + neue Dämmung im Rahmen einer Sanierung 3 - Dämmung im Rahmen		

		einer Sanierung (alte Dämmung entfernt) 4 - nicht bekannt		
	Dicke der Dämmung	cm		
	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	W/mK	1 - $\leq 0,030$ 2 - 0,035 3 - 0,040 4 - 0,045 5 - $\geq 0,050$	
	Flächenanteil der Dämmung	%	1 - 100% 2 - 75% 3 - 50% 4 - 25% 5 - 0%	
	Jahr der Dämmmaßnahme	[Jahr]		
Außenwände	Konstruktionsart		1 - Massiv 2 - Holz	
	Außenwand-Dämmung		0 - nicht vorhanden 1 - originale/ ursprüngliche Dämmung 2 - ursprüngliche Dämmung + neue Dämmung im Rahmen einer Sanierung 3 - Dämmung im Rahmen einer Sanierung (alte Dämmung entfernt) 4 - nicht bekannt	
	Dicke der Dämmung	cm		
	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	W/mK	1 - $\leq 0,030$ 2 - 0,035 3 - 0,040 4 - 0,045 5 - $\geq 0,050$	
	Flächenanteil der Dämmung	%	1 - 100% 2 - 75% 3 - 50% 4 - 25% 5 - 0%	
	Jahr der Dämmmaßnahme	[Jahr]		
Kellerdecke/Bodenplatte	Konstruktionsart		1 - Massiv 2 - Holz	
	Dicke der Dämmung	cm		
	Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs	W/mK	1 - $\leq 0,030$ 2 - 0,035 3 - 0,040 4 - 0,045 5 - $\geq 0,050$	

	Flächenanteil der Dämmung	%	1 - 100% 2 - 75% 3 - 50% 4 - 25% 5 - 0%		
	Jahr der Dämmmaßnahme		[Jahr]		
Fenster	Anzahl der Scheiben		1 - 1 Scheibe 2 - 2 Scheiben 3 - 3 Scheiben 4 - Passivhausfenster ($U \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$)	Passivhausfenster bezeichnen eine 3-Scheiben - Wärmeschutzverglasung mit gedämmten Rahmen.	
	Wärmeschutzverglasung		0 - Nein 1 - Ja		
	Jahr des Fenstereinbaus		[Jahr]		
	Material des Rahmens		1 - Holzrahmen 2 - Kunststoffrahmen 3 - Alu- oder Stahlrahmen 4 - sonstige (bspw. Kombination)		
weitere Fenstertypen (links auf [+] klicken)	vorhanden?		0 - Nein 1 - Ja		
Anlagentechnik					
Zentrale Beheizung (bitte alle verwendeten Systeme nennen)	Heizungstyp		1 - Zentralheizung 2 - Gas-Etagenheizung		
	Zentralheizung bzw. Gas-Etagenheizung versorgt:		1 - das ganze Gebäude 2 - Teile des Gebäudes, ca. 75% der Wohnfläche 3 - Teile des Gebäudes, ca. 50% der Wohnfläche 4 - Teile des Gebäudes, ca. 25% der Wohnfläche 5 - nur raumweise Beheizung		
	Aufstellort des Wärmeerzeugers		1 - Innerhalb der thermischen Hülle 2 - Außerhalb der thermischen Hülle	Thermische Hülle umfasst die Fläche aller nach außen (Außenluft/Erdreich) grenzenden und gedämmten Bauteile -> siehe Erläuterungen	
	Kessel oder Therme - Brennstoff		1 - Erdgas 2 - Heizöl 3 - Flüssiggas		
	Kessel oder Therme - Kesseltyp		1 - Konstanttemperaturkessel 2 - Niedertemperaturkessel 3 - Brennwertkessel		
	Kessel oder Therme - Jahr des Einbaus		[Jahr]		
	Holzessel - Brennstoff		1 - Pellets/ Holzhackschnitzel 2 - Scheitholz 3 - sonstige		
	Holzessel - Jahr des Einbaus		[Jahr]		

	Elektro-Wärmepumpe - Wärmeerzeugung	1 - nur El.-Wärmepumpe 2 - El.-Wärmepumpe mit Heizstab 3 - El.-Wärmepumpe + Kessel	
	Elektro- Wärmepumpe- Wärmequelle	1 - Außenluft 2 - Abluft Lüftungsanlage 3 - Erdreich 4 - Grundwasser	
	Elektro- Wärmepumpe - Jahr des Einbaus	[Jahr]	
	Elektro-Speicher für Heizzwecke	0 - nicht vorhanden 1 - vorhanden	
	Nah-/ Fernwärme - Brennstoff	0 - nicht bekannt 1 - fossil 2 - Biomasse 3 - Biomasse + fossil	
	Nah-/Fernwärme - Wärmeerzeugung	0 - nicht bekannt 1 - Heizkraftwerk/BHKW 2 - Kessel/ Heizwerk 3 - industrielle Abwärme	
	Anteil Kraft-Wärme-Kopplung	0 - <50% 1 - >50%	
	Fern-/ Nahwärme - Jahr des Anschlusses	[Jahr]	
	Blockheizkraftwerk (BHKW) - Brennstoff	1 - Erdgas 2 - Heizöl 3 - Flüssiggas 4 - Biogas 5 - Pflanzenöl 6 - Holzhackschnitzel, Pellets 7 - anderer:	
	BHKW - Jahr des Einbaus	[Jahr]	
	Pufferspeicher - Vorhanden/Aufstellungsort	0 - kein Pufferspeicher vorhanden 1 - Ja, innerhalb der beheizten Hülle 2 - Ja, im unbeheizten Keller 3 - Ja, im unbeheizten Dach	
	Pufferspeichers (im unbeheizten Bereich) - Jahr des Einbaus	[Jahr]	
	Heizungsverteilung verlaufen Heizungsrohre im unbeheizten Keller oder Dach?	0 - Nein 1 - Ja	
	Heizungsverteilung (im unbeheizten Bereich) - Jahr des Einbaus	[Jahr]	
Raumweise Beheizung	Heizungstyp	1 - Einzelöfen mit Brennstoff 2 - Elektro-Heizgeräte/ Elektro-Öfen	

Einzelöfen mit Brennstoff:	1 - Heizöl 2 - Kohle 3 - Scheitholz 4 - Holzpellets 5 - Gas		
mit Nachtspeicher (Sondertarif)	0 - Nein 1 - Ja		
Warmwasserbereitung			
Warmwasserbereitung	1 - kombiniert mit Zentralheizung oder Etagenheizung (s.o.) 2 - direkt mit Gas befeuerter Speicher 3 - zentraler Elektro-Speicher 4 - Kellerluft-/Abluft- Wärmepumpe 5 - Gas- Durchlauferhitzer 6 - Elektro-Durchlauferhitzer 7 - Elektro-Speicher/ - Kleinspeicher		
bei zentraler Warmwasserbereitung:	0 - ohne Warmwasserzirkulation 1 - mit Warmwasserzirkulation		
Warmwasserspeicher	0 - kein Speicher vorhanden 1 - Ja, innerhalb der thermischen Hülle 2 - Ja, im unbeheizten Keller/ Dach		
Warmwasserspeicher (im unbeheizten Bereich) - Jahr des Einbaus	[Jahr]		
Warmwasserverteilung verlaufen Heizungsrohre im unbeheizten Keller oder Dach?	0 - Nein 1 - Ja		
Warmwasserverteilung (im unbeheizten Bereich) - Jahr des Einbaus	[Jahr]		
bei Speicher-bzw. Durchlauferhitzer: - Jahr des Einbaus	[Jahr]		
weitere Warmwasserbereitung vorhanden? (links auf [+] klicken)	0 - Nein 1 - Ja		
Lüftung/ Lüftungsanlage			
Art der Lüftungsanlage	1 - keine vorhanden 2 - Abluftanlage (kontinuierlich betrieben) 3 - Zu-/ Abluft mit ca. 60% Wärmerückgewinnung 4 - Zu-/ Abluft mit ca. 80% Wärmerückgewinnung		
Anordnung	1 - dezentral/ raumweise 2 - zentral		

Wärmerückgewinnung durch		1 - Wärmetauscher 2 - Kopplung mit Wärmepumpe 3 - anderes:		
Solarthermie				
Solarthermieanlage vorhanden?		0 - Nein 1 - Ja		
Größe der Anlage	m ²			
- wenn ja, zur Erwärmung von?		1 - nur Warmwasser 2 - nur Heizsystem-Unterstützung 3 - Warmwasser und Heizung		
- wenn ja, Aufstellort Solarspeicher?		1 - keiner vorhanden, direkt mit Warm-/ Heizwasserspeicher verbunden 2 - innerhalb der thermische Hülle 3 - außerhalb der thermischen Hülle (Keller/Dach)		
- wenn ja, Anteil Deckungsgrad am Verbrauch	%			
Jahr der Installation		[Jahr]		
Photovoltaik (PV)/ Solarstromanlage				
PV-Anlage vorhanden?		0 - Nein 1 - Ja	Angaben zur Nutzung der PV bei Zusatzdaten	
Größe der Anlage	m ²			
Jahr der Installation		[Jahr]		
Wärmebrücken/ Dichtheit				
Wärmebrücken		1 - keine Besonderheiten bzw. nicht bekannt 2 - starke Wärmebrücken 3 - Wärmebrücken minimiert	Hinweis: zu 2: z.B. bei massiven Geschossdecken UND Innendämmung der Wände) zu 3: z.B. DIN 4108 Beiblatt eingehalten	
- falls bekannt: Wärmebrücken-zuschlag	W/m ² K			
Gebäude-Dichtheit		1 - offensichtliche Undichtigkeiten 2 - in den übrigen Fällen ohne Dichtheitsnachweis 3 - bei Nachweis der Dichtheit (Blower-Door-Messung)	Hinweis zu 1: z.B. bei Fenstern ohne funktionstüchtige Lippendichtungen, bei beheizten Dachgeschossen mit Dachflächen ohne luftdichte Ebene	
- falls bekannt:	1/h	n50		
	1/h	nair,infiltr: 0,05 - minimale Infiltration, sehr dichtes Gebäude 0,1 - geringe Infiltration 0,2 - mittelmäßige Infiltration 0,4 - sehr hohe Infiltrationsrate		

Tabelle 40: Fragebogen ‚Verbrauch‘ (Arbeitsblatt 2)²²¹

Angaben zu realen und abgerechneten Verbrauchswerten

► Angaben sollten unbereinigt und mit Kopien der Heizkostenabrechnung und/oder den Verbrauchsmessungen belegt werden

Objekt-Nummer	1		
Datum:			
Allgemeine Daten			
Straße	0		
Hausnummer	0		
Postleitzahl	0		
Ort	0		
optional: Adresszusatz (z.B. Hinterhaus)	0		
Verwalter	0		
Unternehmensinterne Identifikation	0		
Datum der letzten Änderung der Gebäudedaten			
		Gemessener Jahresener- gieverbrauch (I):	Gemessener Jahresener- gieverbrauch (II):
		Gemessener Jahresener- gieverbrauch (II):	
Abrechnungsfläche		m ²	
bezieht sich auf	1 - oben angege- benes Gebäude 2 - zu- sätzliche Gebäu- de/ Liegen- schaften:		
Zeitraum der Erfassung	von	[tt.mm. jjjj]	
	bis	[tt.mm. jjjj]	
bei zentral beheizten Gebäuden	Heizöl	Liter	
	Erdgas	m ³	
		kWh	
	Fern- wärme	kWh	
	Heiz- strom	kWh	

²²¹ eigene Darstellung.

	Pellets	kg			
	Holz	Raum meter			
	andere:	Einheiten			
Jahresverbrauch für	1 - Heizung (ohne Warmwasser)				
	2 - Heizung und Warmwasser				
falls bekannt, Warmwasser-Verbrauch:	(Angabe in m³ und/oder kWh)	kWh			
		m³			
Kosten für den Energieverbrauch			€		
Wurden in diesem Zeitraum energetische Verbesserungen durchgeführt?	0 - Nein 1 - Ja				
Leerstände im Abrechnungsjahr		%			
Wird der komplette Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser durch die Angaben abgedeckt?	0 - Nein 1 - Ja				
Anmerkungen:					
weitere Wärmeerzeugung (Heizung/ Warmwasser) durch:					
(links auf [+] klicken)					
weitere Wärmeerzeugung (Heizung/ Warmwasser) durch:					
(links auf [+] klicken)					

Tabelle 41: Fragebogen ‚Details‘ (Arbeitsblatt 3)²²²

Detaillierte Datenerhebung bezüglich der Geometrie und den energetischen Eigenschaften der Gebäude

Objekt-Nummer

1

Datum:

Allgemeine Daten

Straße

0

²²² eigene Darstellung; angelehnt an aktuelle Version des KVEP- Fragebogens; Originalversion: Loga, Diefenbach, Knissel, & Born, 2005, S. IV-3.

Hausnummer				0
Postleitzahl				0
Ort				0
optional: Adresszusatz (z.B. Hinterhaus)				0
Verwalter				0
Unternehmensinterne Identifikation				0
Datum der letzten Änderung der Gebäudedaten				
Bauteile				
	Dach1	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Dach2	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
Dämmmaterial				
	oberste Geschossdecke1	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	oberste Geschossdecke2	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
Dämmmaterial				
	Außenwand1	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Außenwand2	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
Dämmmaterial				
	Fußboden1 zum Keller oder Erdreich	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Fußboden2 zum Keller oder Erdreich	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
Dämmmaterial				
	Wände zum Keller oder Erdreich1	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Wände zum Keller oder Erdreich2	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
Dämmmaterial				
	Fenster1	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Fenster2	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	
	Haustür	Fläche	m ²	
		U-Wert	W/(m ² K)	

Anmerkung/Besonderheiten				
Fenster				
Ost	Fläche	m ²		
Süd-Ost	Fläche	m ²		
Süd	Fläche	m ²		
Süd-West	Fläche	m ²		
West	Fläche	m ²		
Nord-West	Fläche	m ²		
Nord	Fläche	m ²		
Nord-Ost	Fläche	m ²		
g-Wert senkrecht				
Reduktionsfaktor Verschattung und Verschmutzung		-		
Reduktionsfaktor Rahmen				
Zusatzangaben für EnEV 2009/vereinfachte Datenerhebung nach EnEV				
Fenster mit Rollladen(-Kästen)	0 - nicht vorhanden 1 - im Fenstersturz (vorhanden Wand/ Bestand) 2 - integriert in die Außenwanddämmung 3 - außenseitig auf der Außenwand-Dämmung angebracht			

Tabelle 42: Fragebogen ‚Zusatzdaten‘ (Arbeitsblatt 4)²²³

Zusatzdaten

Objekt-Nummer

1

Datum:

Allgemeine Daten

Straße

0

Hausnummer

0

Postleitzahl

0

Ort

0

optional: Adresszusatz (z.B. Hinterhaus)

0

Verwalter

0

Unternehmensinterne Identifikation

0

Datum der letzten Änderung der Gebäudedaten

Allgemein zum Projekt

²²³ eigene Darstellung.

Welcher Gebäudestandard wird/wurde verfolgt?	1 - unter EnEV 2009 2 - EnEV 2009 3 - KfW- Effizienzhaus 85 4 - KfW- Effizienzhaus 70 5 - KfW- Effizienzhaus 55 6 - Passivhaus 7 - Nullheizenergiehaus 8 - Plus-Energie-Haus	
Wie hoch waren die Kosten der Sanierung?	€	
Gab es seit der Modernisierung Beschwerden der Anwohner über Anlagentechnik, Schimmel etc.?	0 - Nein 1 - Ja	
- wenn ja, überwiegend im welchen Bereich?		
Allgemeine Angaben zum Gebäude		
Sind im Gebäude noch andere Nutzungen vorhanden?	0 - Nein 1 - Ja	z.B. Büros oder Geschäfte im Erdgeschoss
- wenn ja, Flächenanteil der anderen Nutzung:	%	
Wohnungsgröße/ Zimmeranzahl der Wohnungen?	1 - nur Wohnungen ≥ 3 Zimmer 2 - überwiegend 1-2 Zimmer-Wohnungen 3 - unterschiedliche Wohnungsgrößen vorhanden	
Lage des Hauses - Sonneneinstrahlung	1 - sehr sonnige Lage 2 - mittelmäßig sonnig 3 - schattige Lage	Abhängig von der Höhe und dem Abstand der Nachbarbebauung, Bäume oder der allgemeinen Topografie
Art des Sonnenschutzes	1 - Rollläden 2 - Klappläden 3 - außenliegende Jalousie (horizontale/vertikale Lamellen) 4 - nur innenliegender Sonnenschutz	
Wie sind (insofern vorhanden) die Sonnenschutzeinrichtungen geregelt?	1 - Manuell 2 - Automatisch geregelt 3 - Mischregelung	
Wintergärten oder verglaste Loggien vorhanden?	0 - Nein 1 - Ja	
Wohnfläche		
Fand eine Wohnflächenerhöhung statt?	1 - Ausbau des Dachgeschosses 2 - Ausbau des Kellers 3 - Anbau kompletter Gebäudeteile 4 - Aufstockung einer Etage 5 - Integration der Balkone	
Wie sind die Balkone mit dem Gebäude verbunden?	1 - direkt mit der Geschossdecke 2 - thermisch entkoppelt ("vor die Fassade gestellt") 3 - mit der Geschossdecke verbunden, aber thermisch entkoppelt	
Grenzt das Treppenhaus an eine Außenwand?	0 - Nein, es liegt zentral im Gebäude 1 - an einer Seite 2 - zwei Seiten 3 - drei Seiten 4 - vier Seiten	
Bewohner und Nutzung		

Wie viele Personen sind im Gebäude wohnhaft?		falls bekannt	
Ungefähre Altersverteilung	1 - 18-29 Jahre 2 - 30-49 Jahre 3 - 50-64 Jahre 4 - 65 und älter	falls bekannt	
Sozio-ökonomische Situation der Bewohner: Werden die Mieten/ Nebenkosten vom Staat beglichen?	1 - bei 0% der Fall 2 - bei ca. 25% der Fall 3 - bei ca. 50% der Fall 4 - bei ca. 75% der Fall 5 - bei 100% der Fall		
Wie kann der Nutzer die Wärme im Raum regeln?	1 - automatische Regelung, kein manuelles Einstellen möglich 2 - Thermostatventil am Heizkörper 3 - raumweise Regelung		
Ist die Lüftungsanlage individuell (wohnungs-/raumweise) regelbar?	1 - individuell (dezentral) 2 - nur indirekt regelbar (zentral)		
Fand eine Einweisung der Mieter in die Besonderheiten eines Niedrig-, Niedrigst-Energiehauses statt?	0 - Nein 1 - Ja		
Anlagentechnik			
Klimatisierung	0 - nicht vorhanden 1 - vorhanden		
Wärmübergabe in den Raum	1 - Luftheizung 2 - Heizkörper 3 - Fußbodenheizung/ Flächenheizung 4 - Raumgeräte, Öfen, etc.		
Wofür wird der Solarstrom verwendet?	1 - wird komplett ins öffentliche Netz eingespeist 2 - als Hilfsenergie für die haustechnischen Anlagen (Heizung, Warmwasser, Lüftung) 3 - als Strom für die Haushalte im Gebäude		
Fanden bereits Anlagenoptimierungen statt?	0 - Nein 1 - Ja		
- wenn Ja, welche?	1 - Voreinstellung der Thermostatventile zur Durchflussbegrenzung 2 - Einstellung Pumpe oder Differenzdruckreglers auf Netzanforderungen 3 - Einstellung der Regelung 4 - andere:		
Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers?		falls bekannt	
Verbrauchsmessung			
Wie werden die Verbrauchsdaten erfasst?	1 - Direkter Datenaustausch mit dem Versorger 2 - manuelle Ablesung 3 - Elektronische Erfassung über ein vorhandenes Gebäudeleitsystem 4 - Auswertung von Rechnungen, keine eigene Ablesung am Zähler		

Welche Geräte sind zur Verbrauchserfassung im Gebäude installiert?	1 - Heizkostenverteiler - Verdunster 2 - Heizkostenverteiler - elektrisch 3 - Wärme(mengen)zähler 4 - (Warm-)Wasserzähler 5 - Fernablesung (Datenbus, Funk)	auch eine Kombination der Systeme ist möglich, bspw. elektrischer Heizkostenverteiler mit Funk
Liegen die Verbrauchsdaten auch monatlich vor?	0 - Nein 1 - Ja	für diesen Fall könnte der Warmwasseranteil herausgerechnet werden
Bilanz: haben sich die Energiekosten nach der Modernisierung verringert?	0 - Nein 1 - Ja, geringfügig 2 - Ja, deutlich	

Anhang C: Diagramme Gebäudemerkmale

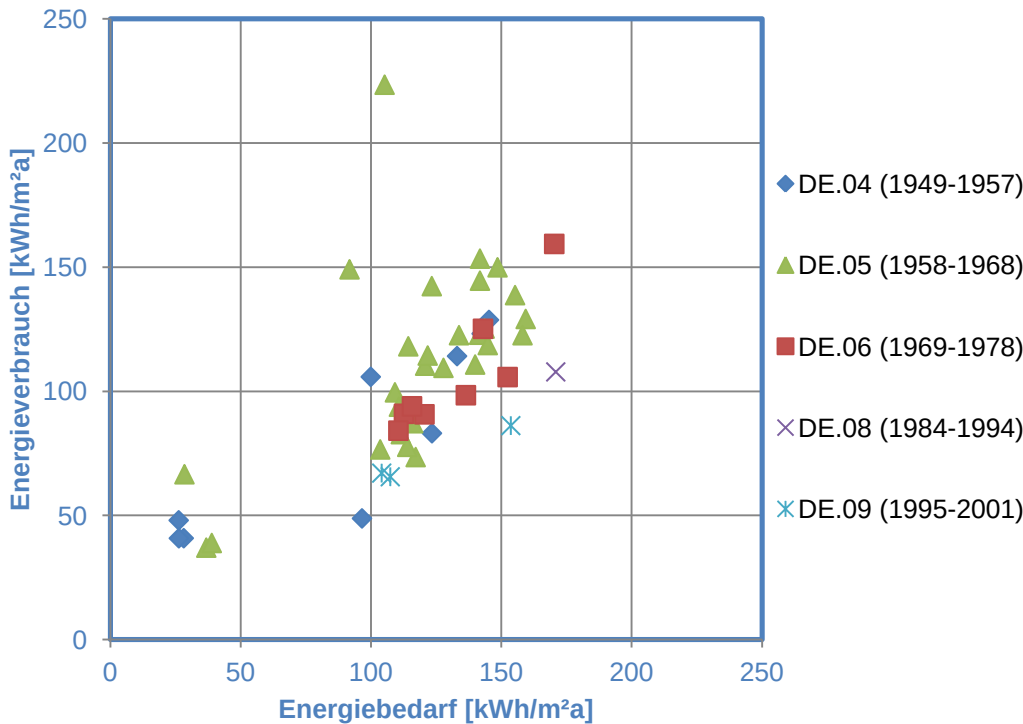


Abbildung 25: Gebäudemerkmale ,Baujahrsklasse'²²⁴

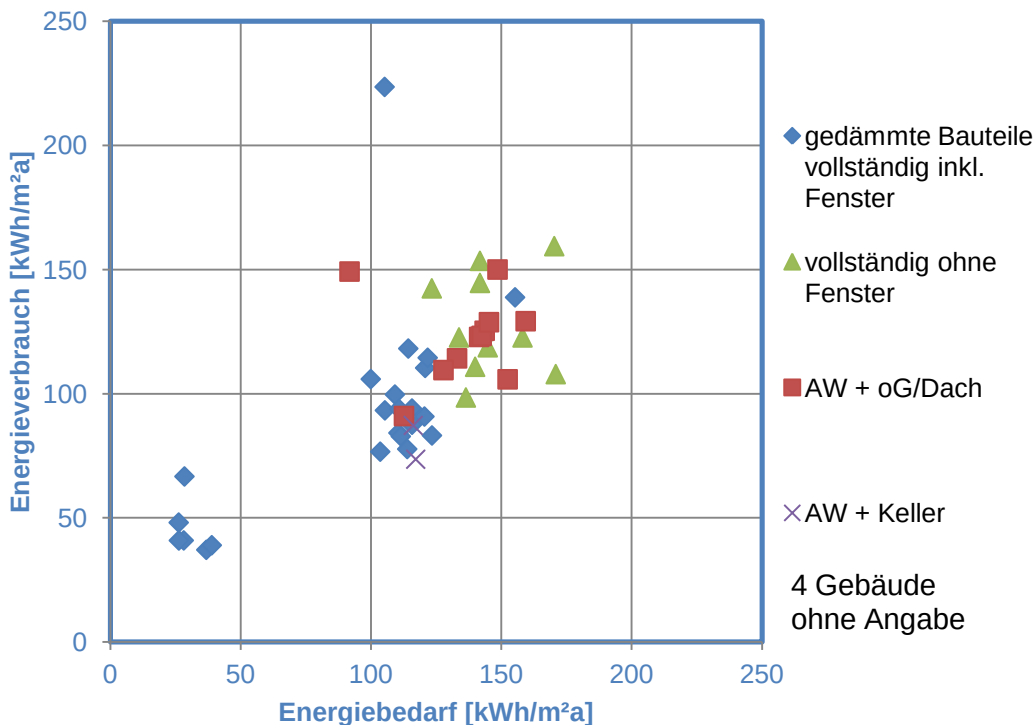


Abbildung 26: Gebäudemerkmale ,Sanierungsstand'²²⁵

²²⁴ eigene Darstellung.

²²⁵ eigene Darstellung.

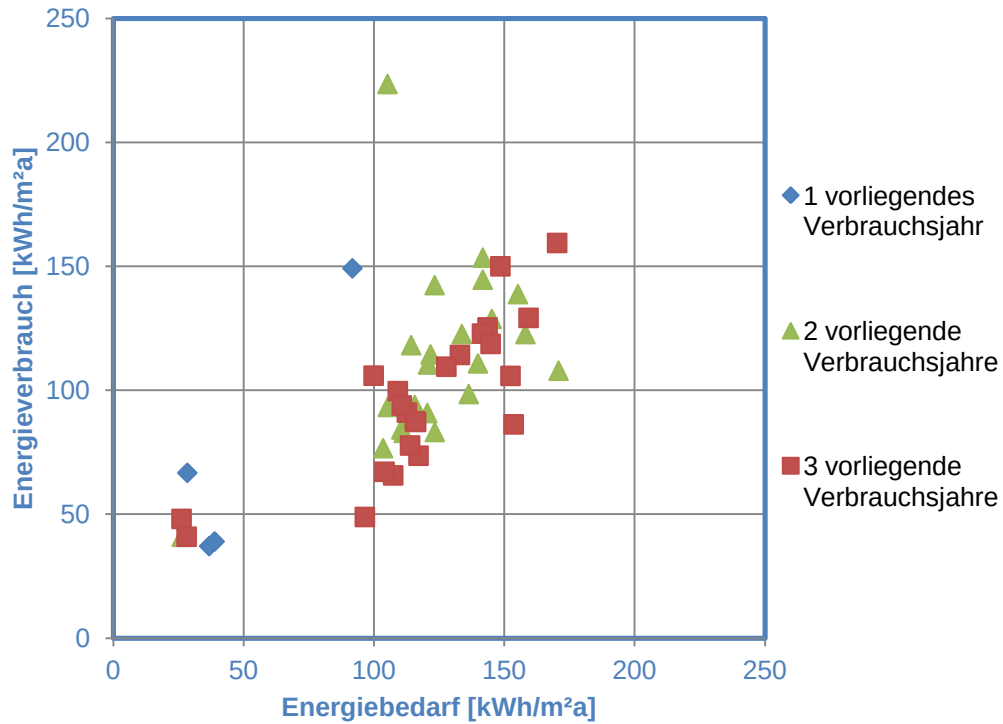


Abbildung 27: Gebäudemerkmale ,vorliegende Verbrauchsjahre'²²⁶

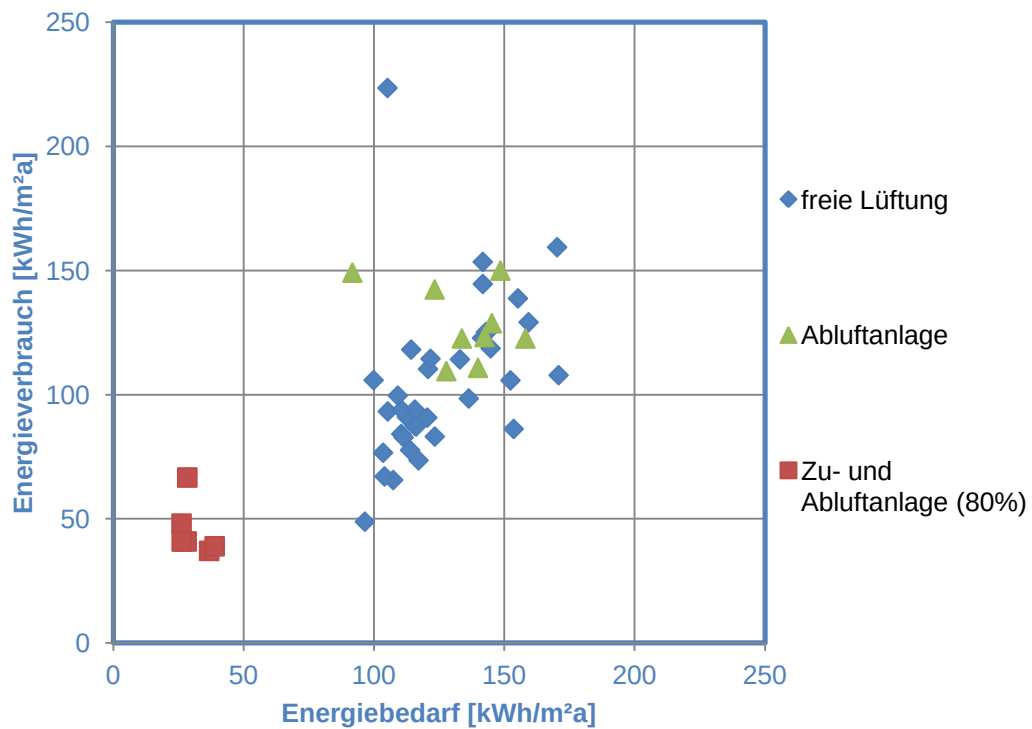
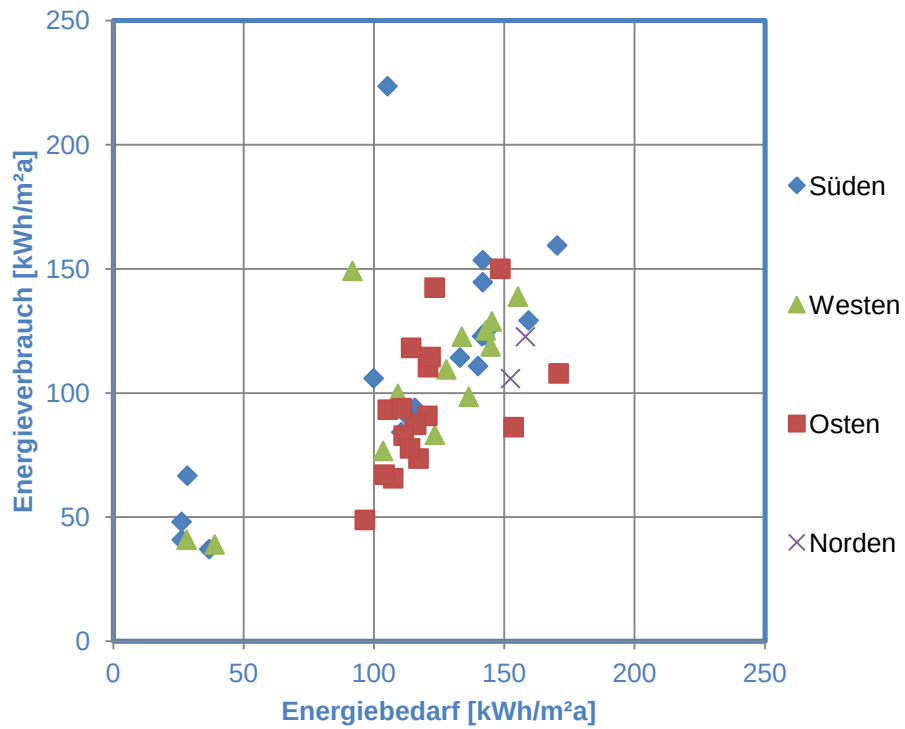


Abbildung 28: Gebäudemerkmale ,Lüftung'²²⁷

²²⁶ eigene Darstellung.

²²⁷ eigene Darstellung.



Anhang D: Datenübersicht

Tabelle 43: Datenübersicht aller Gebäude²²⁹

				Abweichung V/B							gedämmte Bauteile						
Ange- wendet es Kür- zel	Ener- giebed arf (TA- BULA)	Ver- brauc h HZ & WW	"KI as- se Ver bra uch "	%- Abwei- chung	Absolute Abwei- chung	Lüftung	Bau- al- terskla sse	Wohn- fläche	Woh- nung sanz ahl	Wohn- fläche/ Woh- nungs anzahl	Dac h	oG	AW	Kel- lerd eck e	Wär- mesch utzver glasun g wenn mittle- re U- Wert < 1,8	Ori- entier ung	vor- lie- gen de Ver- brau chsj ahre
	kWh/(m²a)	kWh/(m²a)		%	kWh/(m² a)			m²		m²	m	m	m	m	x – Ja 0 - nein		
A.TS.L. Passiv	26,21	48,09	A	83,56	21,88	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.04	1318,2	21	62,77	0,4	0,24	0,29	0,26	x	South	3
A.TS.L. Passiv	28,15	40,90	A	46,46	12,74	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.04	1047,3	18	58,18	0,4	0,24	0,27	0,26	x	West	3
A.TS.X L.Passiv	26,27	40,87	A	55,40	14,60	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.04	1400,5	22	63,66	0,4	0,24	0,27	0,26	x	South	2
D.LT.XL	152,42	105,78	C	-30,33	-46,63	freie Lüftung	DE.06	1795,28	24	74,80	0	0,16	0,14	0	0	North	3
D.B_C. XL	133,01	114,24	C	-13,76	-18,78	freie Lüftung	DE.04	2044	30	68,13	0	0,16	0,14	0	0	South	3
C.B_C.	99,90	105,88	C	5,67	5,98	freie Lüftung	DE.04	2423,32	43	56,36	0	0,17	0,14	0,05	x	South	3

²²⁹ eigene Darstellung.

Anhang D: Datenübersicht

XXL.																	
C.B_C.XL.	127,80	109,50	C	-14,37	-18,30	Abluftanlage	DE.05	1359,92	24	56,66	0	0,16	0,14	0	0	West	3
D.B_C.M.	143,61	125,34	C	-13,08	-18,27	freie Lüftung	DE.05	527,01	9	58,56	0	0,16	0,14	0	0	South	3
D.B_C.M.	141,49	122,85	C	-13,09	-18,64	freie Lüftung	DE.05	527,01	9	58,56	0	0,16	0,14	0	0	South	3
D.B_C.M.	148,54	150,01	D	0,98	1,47	Abluftanlage	DE.05	759,72	12	63,31	0	0,16	0,14	0	0	East	3
D.LT.M.	159,35	129,20	C	-18,97	-30,15	freie Lüftung	DE.05	624,36	12	52,03	0	0,12	0,15	0	0	South	3
D.B_C.XL.	144,79	118,69	C	-18,00	-26,09	freie Lüftung	DE.05	1496,56	24	62,36	0	0,1	0,14	0,05	0	West	3
C.B_C.XL.	123,32	142,41	D	15,56	19,10	Abluftanlage	DE.05	1418,64	24	59,11	0	0,08	0,15	0,05	0	East	2
D.B_C.XL.	142,45	123,27	C	-13,44	-19,18	Abluftanlage	DE.04	2040,21	36	56,67	0	0,16	0,15	0	0	South	2
D.B_C.XL.	145,26	128,79	C	-11,30	-16,47	Abluftanlage	DE.04	1340,46	27	49,65	0	0,16	0,15	0	0	West	2
C.B_C.S.	91,77	149,19	D	62,57	28,71	Abluftanlage	DE.05	350,97	6	58,50	0	0,14	0,15	0	0	West	1
D.B_C.L.	133,75	122,66	C	-8,33	-11,09	Abluftanlage	DE.05	1165,74	16	72,86	0	0,16	0,15	0,06	0	West	2
D.B_C.S.	158,14	122,66	C	-22,47	-35,48	Abluftanlage	DE.05	348,45	6	58,08	0	0,08	0,15	0,06	0	North	2
D.B_C.M.	139,95	110,84	C	-20,50	-29,11	Abluftanlage	DE.05	527,01	9	58,56	0	0,16	0,15	0,06	0	South	2
A.TS.XL.KfW5	36,80	37,10	A	0,83	0,30	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.05	2030	27	75,19	0,3	0	0,3	0,2	x	South	1
A.TS.XL.Passiv	38,91	38,97	A	0,16	0,06	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.05	1618,97	28	57,82	0,63	0	0,28	0,12	x	West	1

C.TS.X L.	112,66	90,99	C	-18,83	-21,66	freie Lüftung	DE.06	1476	24	61,50	0	0,14	0,14	0	x	South	3
C.B_C. L.	120,50	90,79	C	-24,81	-29,71	freie Lüftung	DE.06	1152	18	64,00	0	0,14	0,1	0,08	x	East	2
D.B_C. L.	136,40	98,48	C	-28,02	-37,92	freie Lüftung	DE.06	1152	18	64,00	0,2	0	0,12	0,08	0	West	2
C.B_C. S.	105,22	223,55	D	112,99	118,32	freie Lüftung	DE.05	431	6	71,83	0,22	0	0,1	0,08	x	South	2
C.TS.L.	114,30	118,18	C	3,49	3,88	freie Lüftung	DE.05	1042	16	65,13	0	0,12	0,14	0,08	x	East	2
C.TS.L.	120,77	110,38	C	-8,84	-10,39	freie Lüftung	DE.05	1040	16	65,00	0	0,12	0,14	0,08	x	East	2
C.TS.L.	121,74	114,47	C	-6,10	-7,27	freie Lüftung	DE.05	1030	16	64,38	0	0,12	0,14	0,08	x	East	2
D.LT.M.	170,31	159,41	D	-6,70	-10,89	freie Lüftung	DE.06	668	10	66,80	0	0,14	0,1	0,08	0	South	3
C.TS.X L.	109,18	99,65	C	-9,21	-9,53	freie Lüftung	DE.05	1530	24	63,75	0	0,14	0,12	0,08	x	West	3
D.LT.M.	141,79	144,62	D	1,47	2,83	freie Lüftung	DE.05	527	8	65,88	0	0,14	0,12	0,08	0	South	2
D.LT.M.	141,79	153,49	D	8,13	11,71	freie Lüftung	DE.05	527	8	65,88	0	0,14	0,12	0,08	0	South	2
C.TS.L.	115,72	87,48	B	-24,11	-28,24	freie Lüftung	DE.05	1178	16	73,63	0	0,14	0,14	0,08	x	East	3
C.TS.L.	116,20	87,22	B	-24,65	-28,99	freie Lüftung	DE.05	1178	16	73,63	0	0	0,14	0,08	x	East	3
C.TS.X L.	117,14	73,58	B	-37,15	-43,56	freie Lüftung	DE.05	1646	24	68,58	0	0	0,14	0,08	x	East	3
D.LT.L.	142,97	125,22	C	-12,44	-17,75	freie Lüftung	DE.06	1187	18	65,94	0,2	0	0,12	0,08	0	West	2
C.B_C. M.	110,51	84,20	B	-24,07	-26,31	freie Lüftung	DE.06	764	12	63,67	0	0,14	0,1	0,08	x	South	2
C.B_C. S.	115,72	94,02	C	-18,69	-21,70	freie Lüftung	DE.06	510	6	85,00	0	0,14	0,1	0,08	x	South	2
C.TS.X L.	105,33	93,28	C	-12,54	-12,05	freie Lüftung	DE.05	1412	24	58,83	0	0,14	0,14	0,08	x	East	2
C.TS.X L.	111,44	82,81	B	-26,11	-28,62	freie Lüftung	DE.05	1646	24	68,58	0	0,14	0,14	0,08	x	East	2
C.TS.X	103,53	76,65	B	-25,44	-26,89	freie Lüftung	DE.05	2823	48	58,81	0	0,14	0,14	0,08	x	West	2

Anhang D: Datenübersicht

XL.																	
D.LT.S.	170,88	107,87	C	-38,06	-63,00	freie Lüftung	DE.08	453	6	75,50	0,14	0	0,1	0,08	0	East	2
D.B_C.M.	155,27	138,80	D	-11,55	-16,47	freie Lüftung	DE.05	617	8	77,13	0,08	0	0,14	0,08	x	West	2
C.TS.XL.	110,71	93,86	C	-16,37	-16,84	freie Lüftung	DE.05	2313	32	72,28	0	0,14	0,14	0,08	x	East	3
C.TS.XL.	113,89	77,71	B	-31,62	-36,18	freie Lüftung	DE.05	2040	32	63,75	0	0,14	0,14	0,08	x	East	3
C.B_C.XXL.*	107,39	65,64	B	-38,84	-41,75	freie Lüftung	DE.09	4885	78	62,63	0	0	0	0	0	East	3
C.TS.XL.*	96,54	48,87	A	-49,20	-47,67	freie Lüftung	DE.04	4565	70	65,21	0	0	0	0	0	East	3
D.TS.S.*	153,64	86,23	B	-44,24	-67,41	freie Lüftung	DE.09	396	6	66,00	0	0	0	0	0	East	3
C.TS.XL.*	104,08	67,11	B	-35,35	-36,98	freie Lüftung	DE.09	9277	122	76,04	0	0	0	0	0	East	3
C.WP.L.	123,38	83,16	B	-32,85	-40,21	freie Lüftung	DE.04	1056	15	70,40	0,32	0,12	0,14	0,1	x	West	2
A.B_C.XL.KfW 55	28,43	66,66	B	134,50	38,23	Zu- und Abluftanlage (80%)	DE.05	1473,13	22	66,96	0,3	0,3	0,2	0,06	x	South	1

Anhang E: Fehlerbetrachtung

Tabelle 44: Fehlerbetrachtung/Variationsergebnisse²³⁰

	Variablen												
Angewendetes Kürzel	n _{air_use} (Luftwechsel)		theta_i (Innentempera- tur)		phi_int (interne Ge- winne)		q_sol (solare Gewinn)		q_w_nd (Wärmebedarf Warmwasser)		Flächenschät- zung		Flächenschätzung und Standardrandbe- dingungen
	+/- 0,2	1/h	+/- 1,5	°C	+/- 1	W/(m²K)	W/(m²K)		+/- 5	W/(m²K)			
Variation: (min/max)	0,2	0,6	18,5	21,5	2	4	-50%	-80%	10	20	Be- darf	Abwei- chung	Bedarf
	auch bei guten Häusern für den Fall einer schlecht/ falsch arbeitenden Lüftungsanlage		Bei Passiv/ Kfw: 20-23°										
A.TS.L.Passiv	23,09	33,10	23,27	27,78	28,87	23,95	31,27	34,84	23,93	28,49	28,54	68,53%	34,17
A.TS.L.Passiv	24,78	34,91	24,98	29,81	31,14	25,54	32,08	34,69	25,93	30,38	25,63	59,56%	31,86
A.TS.XL.Passiv	22,71	33,12	23,37	27,80	29,24	23,74	29,95	32,43	24,05	28,50	25,40	60,95%	30,73
D.LT.XL.	138,14	166,72	139,07	165,89	157,13	147,91	158,95	163,05	146,42	158,42	136,53	-22,52%	153,80
D.B_C.XL.	120,60	145,43	119,77	146,31	137,19	129,01	139,25	143,16	127,16	138,86	120,37	-5,09%	142,16
C.B_C.XXL.	87,50	112,32	90,15	109,72	104,10	95,92	105,20	108,53	94,05	105,75	82,19	28,83%	95,56
C.B_C.XL.	114,17	141,44	115,47	140,20	132,28	123,51	133,66	137,32	121,95	133,65	117,98	-7,18%	127,63
D.B_C.M.	129,98	157,24	129,69	157,58	148,08	139,31	149,79	153,66	137,76	149,46	133,28	-5,96%	143,87
D.B_C.M.	127,86	155,13	127,78	155,26	145,96	137,20	147,68	151,54	135,64	147,34	133,41	-7,92%	143,87
D.B_C.M.	136,11	160,97	133,93	163,20	152,83	144,41	153,57	156,69	142,69	154,39	118,32	26,78%	138,48

²³⁰ eigene Darstellung.

Anhang E: Fehlerbetrachtung

D.LT.M.	144,19	174,50	143,44	175,33	164,19	154,69	167,91	173,32	153,35	165,35	135,54	-4,68%	146,08
D.B_C.XL.	129,61	159,97	131,13	158,50	149,84	139,94	150,80	154,54	138,89	150,69	135,55	-12,43%	140,24
C.B_C.XL.	110,45	136,18	111,25	135,44	127,62	119,20	129,13	132,77	117,47	129,17	108,56	31,18%	122,87
D.B_C.XL.	128,74	156,16	128,76	156,21	147,00	138,09	149,28	153,57	136,55	148,35	137,75	-10,51%	155,97
D.B_C.XL.	131,54	158,98	130,89	159,69	149,88	140,82	151,37	155,19	139,36	151,16	133,95	-3,85%	152,14
C.B_C.S.	76,14	107,40	83,53	100,03	97,16	86,63	93,96	95,29	85,87	97,67	107,93	38,22%	108,23
D.B_C.L.	119,58	147,92	121,10	146,46	138,46	129,24	138,84	142,00	127,90	139,60	120,19	2,06%	124,12
D.B_C.S.	143,98	172,30	142,91	173,42	162,75	153,69	164,74	168,85	152,29	163,99	141,83	-13,52%	145,96
D.B_C.M.	125,78	154,11	126,60	153,34	144,61	135,47	145,65	149,19	134,10	145,80	129,53	-14,43%	133,34
A.TS.XL.KfW55	32,03	42,17	34,99	40,61	40,03	34,07	39,81	41,82	31,10	42,50	35,69	3,95%	37,80
A.TS.XL.Passiv	34,62	43,70	37,15	42,52	41,88	36,28	41,24	42,74	33,21	44,61	36,66	6,30%	40,66
C.TS.XL.	97,70	127,62	101,71	123,67	117,59	107,96	118,83	122,71	107,53	117,79	112,54	-19,14%	105,73
C.B_C.L.	105,19	135,82	109,19	131,86	125,85	115,40	124,47	126,92	114,65	126,35	118,90	-23,64%	113,09
D.B_C.L.	120,08	152,73	123,40	149,45	142,11	130,94	140,69	143,33	130,50	142,30	128,09	-23,12%	121,85
C.B_C.S.	92,55	117,91	95,43	115,09	109,44	101,21	110,82	114,34	99,35	111,10	111,06	101,29%	104,08
C.TS.L.	99,88	128,74	103,43	125,24	119,01	109,82	120,87	125,01	108,60	120,00	105,68	11,83%	101,11
C.TS.L.	106,35	135,21	109,23	132,40	125,47	116,30	127,62	131,94	115,07	126,47	105,84	4,29%	101,12
C.TS.L.	107,32	136,17	110,07	133,49	126,42	117,28	128,79	133,24	116,04	127,44	106,04	7,95%	101,17
D.LT.M.	153,35	187,27	155,60	185,07	176,06	164,78	175,58	178,83	164,01	176,61	176,03	-9,44%	167,35
C.TS.XL.	94,20	124,17	99,11	119,30	114,29	104,31	113,43	116,05	103,48	114,88	110,74	-10,02%	102,80
D.LT.M.	124,82	158,79	129,17	154,51	147,37	136,49	149,81	154,90	135,49	148,09	150,53	-3,93%	140,77
D.LT.M.	124,82	158,79	129,17	154,51	147,37	136,49	149,81	154,90	135,49	148,09	150,75	1,82%	140,77
C.TS.L.	100,74	130,72	105,02	126,48	120,85	110,84	119,97	122,58	110,02	121,42	110,73	-20,99%	102,76
C.TS.L.	101,22	131,20	105,45	127,01	121,33	111,32	120,45	123,06	110,50	121,90	105,24	-17,13%	97,35
C.TS.XL.	102,15	132,13	106,26	128,07	122,24	112,27	121,62	124,39	111,44	122,84	103,59	-28,97%	96,01
D.LT.L.	125,93	160,02	130,68	155,32	148,93	137,29	147,31	149,99	136,67	149,27	148,72	-15,80%	140,29
C.B_C.M.	95,23	125,81	100,02	121,07	115,73	105,56	115,68	118,90	104,66	116,36	114,74	-26,61%	106,26
C.B_C.S.	100,49	130,99	104,37	127,17	120,71	111,00	123,21	127,97	109,87	121,57	118,87	-20,90%	109,14

C.TS.XL.	90,98	119,68	95,55	115,16	110,19	100,70	109,80	112,57	99,63	111,03	105,58	-11,65%	100,90
C.TS.XL.	97,09	125,79	101,06	121,87	116,31	106,79	115,90	118,67	105,74	117,14	104,96	-21,10%	100,33
C.TS.XXL.	89,19	117,89	94,08	113,04	108,41	98,89	107,75	110,36	97,83	109,23	104,27	-26,49%	99,96
D.LT.S.	153,83	187,92	154,64	187,17	176,74	165,24	176,67	180,26	165,88	175,88	166,82	-35,34%	155,60
D.B_C.M.	139,97	170,58	140,28	170,32	160,53	150,22	160,70	164,06	149,42	161,13	100,00	38,80%	92,29
C.TS.XL.	95,72	125,71	100,05	121,42	115,86	105,79	114,60	116,99	106,15	115,27	98,55	-4,75%	89,09
C.TS.XL.	98,90	128,89	102,93	124,89	119,06	108,96	117,68	120,01	109,33	118,45	96,92	-19,83%	87,30
C.B_C.XXL.*	93,46	121,34	97,87	116,96	111,87	103,12	112,28	115,32	102,13	112,66	114,37	-42,60%	113,86
C.TS.XXL.*	83,14	109,95	88,33	104,80	100,86	92,42	100,87	103,57	90,84	102,24	100,89	-51,56%	101,98
D.TS.S.*	140,23	167,05	139,92	167,41	157,92	149,51	159,35	162,90	147,94	159,34	170,34	-49,38%	163,58
C.TS.XXL.*	90,68	117,50	95,14	113,07	108,41	99,96	108,59	111,40	98,38	109,78	111,81	-39,98%	110,12
C.WP.L.	106,44	140,32	111,81	134,99	129,12	117,89	127,73	130,41	116,78	129,98	128,68	-35,37%	124,25
A.B_C.XL.KfW55	23,82	33,59	26,26	32,97	31,52	25,73	32,55	35,33	25,56	31,30	27,18	145,23%	31,14

Anhang F: Vergleichswerte Verbrauchsstatistiken

Für alle Kennwerte gilt:

- Einheit [kWh/(m²a)]
- Flächenbezug: Wohnfläche
- Brennwertbezug
- Angaben für Heizung und Warmwasser

Tabelle 45: Verbrauchskennwerte Techem (aufbereitet)²³¹

Energieträger	Anzahl WE	WSVO 95 (1995-2001)	EnEV (2002-2008)	EnEV 2009 (ab 2009)
Fernwärme				
	3 - 4	120,5	102,5	96
	5 - 7	111,5	96,5	91
	8 - 16	106	95	91,5
	>16	100	89	84
Öl/Gas				
	3 - 4	137,31	111,31	97,93
	5 - 7	133,08	108,78	97,85
	8 - 16	132,69	110,76	101,70
	>16	133,66	111,93	103,04

Tabelle 46: Verbrauchskennwerte ista-IWH (aufbereitet)²³²

vollsanziert	1900 - 1918	1919 - 1948	1949 - 1957	1958 - 1968	1969 - 1978	1979 - 1983	1984 - 1994	ab 1995
kleines MFH, 2 bis 6 WE	180,84	179,52	176,88	168,96	172,92	180,84	165,00	142,56
mittleres MFH, 7 bis 12 WE	166,32	155,76	153,12	145,20	160,38	154,44	147,84	135,96
MFH, 13 bis 21 WE	158,40	143,88	139,92	132,00	138,60	135,30	120,12	133,32
großes MFH, ab 22 WE	161,04	137,28	120,12	112,20	117,48	118,80	108,24	129,36

²³¹ eigene Darstellung; Ausgangswerte entnommen aus Techem Energy Services GmbH, 2013: Heizkennwerte S.46, Wasserkennwerte S.41, Anteilige Berücksichtigung der Erzeuger S.22.

²³² eigene Darstellung; Ausgangswerte entnommen aus Michelsen & Müller-Michelsen, 2010, S. 454.

Tabelle 47: Verbrauchskennwerte Brunata-Metrona (aufbereitet)²³³

Erzeuger	Fläche [m²]	Verbrauchskennwert
Gas/Öl	200	156,75
	400	142,50
	1000	132,75
Fern	500	105,50
	1000	100,00
	2000	101,50

Tabelle 48: Verbrauchskennwerte BMVBS Online Publikation (11/2012) (aufbereitet)²³⁴

Erzeuger	Fläche [m²]	Verbrauchskennwert
Gas/Öl	200-500	142,56
	500-2000	129,36
	> 2000	125,4
Fernwärme	200-500	121,44
	500-2000	105,6
	> 2000	106,92

²³³ eigene Darstellung; Ausgangswerte (Heizwerte) entnommen aus Schröder, Greller, Hundt, Mundry, & Papert, 2009, S. 398 f., Warmwasserwerte aus Schröder, Papert, Boegelein, Navarro, & Mundry, 2014, S. 5.

²³⁴ eigene Darstellung; Ausgangswerte entnommen aus Fisch, et al., 2012, S. 24 f.

Anhang G: Kenndatenblatt

Anschrift		
Gebäudeart		
Baujahr		
Wohnfläche	_____	
	o Wohnfläche	o Nutzfläche
Energieträger		
Klimazone		

[Bild]

energetische Modernisierungsmaßnahmen:

Bauteil	Dicke der Dämmung	U-Wert
Außenwand		
Dach/oberste Geschossdecke		
Kellerdecke-/Boden		
Fenster		
Außentür		
Anlagentechnik	Wärmeerzeuger: _____ Warmwassererzeuger: _____ Lüftung: _____ Erneuerbare Energien: _____ o Wärme o Warmwasser o Strom	
Besonderheiten	architektonisch/ bauphysikalisch/ anlagentechnisch	

Ergebnisse Endenergie

Jahr	Bedarfswert (TABULA)	Verbrauchswert [inkl. Einheit]	Kosten	% - Abweichung
Jahr 1		_____ o Heizwert o Brennwert o mit WW o ohne WW		
Jahr 2		_____ o Heizwert o Brennwert o mit WW o ohne WW		
Jahr 3		_____ o Heizwert o Brennwert o mit WW o ohne WW		

Mögliche Problemfelder:

- ausgehend von eingetroffenen Beschwerden (Schimmelprobleme, Anlagentechnik,..)
- Sanierungszustand

